



## ***Remerciements***

*Toutes les personnes qui nous ont permis de mener à bien  
Ce travail sont assurées de notre gratitude.*

*Nous tenons à remercier tout particulièrement notre  
Promoteur Mr. Laouari Azzdine*

*Pour ses précieux conseils et sa disponibilité tout au long  
de cette recherche.*

*Et tous les enseignants de génie mécanique pour leur aide et  
conseils*

*Et sans oublier tout les étudiants de cette promo*

*Nos remerciements s'adressent aux membres du Jury qui  
Nous font l'honneur de participer à la Soutenance.*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail:*

*A ma source de bonheur :*

*Mon dieu, Mon père, ma mère, mon mari pour leurs amour, leurs bonté, leurs sacrifice, leurs encouragements perpétuels, leurs soutien. Puisse Dieu prolonger leur vie dans le bonheur.*

*Mes frères mes souers et à tout ma famille.*

*Pour mes amies a l'université AKLI M'HAND OULHADJ spécialité énergétique.*

*Chabane chaouche atika*

# Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à ceux que j'aime,

A mes chers parents à ma mère et mon père

Mes sœurs ; MASSILIA, FATIMA. Et a toute  
la famille HAMICHI, Sont oubliés mes amies.

**HAMICHI MERIEM**

## Résumé

Dans ce mémoire nous avons effectué une étude thermodynamique et énergétique sur une machine à absorption solaire (NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O), ou nous avons fait varier quelques paramètres importants à savoir la température du bouilleur, la température du condenseur et la fraction du fluide frigorigène, afin de voir leurs influences directes sur le coefficient de performance COP. Enfin, nous avons appliqué ces calculs pour quelques cas réels.

**Mots clés** : machine a absorption (NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O), échangeur de chaleur, production du froid, coefficient de performance.

## Abstract

The aim of this study is to carried out a thermodynamic and energy study on a machine with solar absorption (NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O), than we varied some parameters important to know the temperature of the evaporator , the temperature of the condenser and the fraction of the refrigerant, in order to see their direct influence on the coefficient of performance COP. Then we used these calculations for some real cases.

**Key words**: absorption machine (NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O), heat exchanger, refrigeration, coefficient of performance.

## المخلص

الهدف من هذه الدراسة هو إجراء دراسة ديناميكية حرارية على جهاز مع امتصاص الطاقة الشمسية (NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O) ، من أننا قمنا بتغيير بعض المعلومات الهامة لمعرفة درجة حرارة المبخر ، ودرجة حرارة المكثف وجزء من المبردات ، من أجل رؤية تأثيرها المباشر على معامل الأداء COP. ثم استخدمنا هذه الحسابات لبعض الحالات الحقيقية.

**الكلمات المفتاحية**: آلة الامتصاص (NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O) ، المبادل الحراري ، التبريد ، معامل الأداء



# *Sommaire*

Remerciement	
Dédicaces	
Résumé	
Nomenclature	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction Générale.....	1
<b><i>Chapitre I : Généralités et revue bibliographique</i></b>	
I.1 Introduction.....	4
I.2 Historique du froid.....	4
I.3 Historique des machines frigorifique à absorption.....	5
I.4 Définition d'une machine frigorifique.....	6
I.5 Principe de fonctionnement d'une machine frigorifique .....	8
I.6 Le principe de fonctionnement d'un système à absorption.....	9
I.7 La production du froid.....	10
I.8 Mélanges réfrigérants.....	10
I.8.1 Détente d'un gaz comprimé.....	10
I.8.2 Evaporation d'un liquide pur ou d'un mélange de liquides pur.....	10
I.9 Les machines frigorifiques à absorption liquide.....	11
I.10 Les éléments d'une machine à absorption.....	12
I.11 Mélanges pour les machines à absorption.....	14
I.11.1 Les conditions d'absorption des couples binaires .....	14
I.11.2 Caractéristique de couple binaire .....	15
I.12 Différentes technologies d'absorption disponibles.....	16
I.13 Machine frigorifique à absorption fonctionnant avec une solution de (NH <sub>3</sub> / H <sub>2</sub> O).....	17

I.14 Principe de fonctionnement.....	17
I.15 Machine à absorption fonctionnant avec une solution H <sub>2</sub> O- LiBr.....	18
I.16 Les avantages et les inconvénients d'eau-bromure de lithium .....	18
I.17 Conclusion.....	19

## ***Chapitre II : Fondements théoriques des équilibres thermodynamiques***

II.1 Introduction.....	21
II.2 Etude thermodynamique .....	21
II.2.1 Premier principe .....	21
II.2.2 Deuxième principe .....	21
II.3 Cycle frigorifique .....	22
II.4 Rappel sur les cycles (le cycle idéal de Carnot).....	23
II.5 Caractéristiques de performance des cycles .....	24
II.6 Les cycles à changement de phase.....	24
II.7 Fluides de travail utilisés .....	25
II.8 Flux de chaleur.....	27
II.9 Expression des flux d'énergie .....	28
II.10 Détermination des coefficients de transferts de masse et de chaleur.....	30
II.11 Stockage d'énergie .....	31
II.11.1 Le stockage de l'énergie solaire.....	31
II.11.2 Le stockage par chaleur sensible.....	32
II.11.3 Le stockage par chaleur latente.....	32
II.12 Conclusion .....	33

## ***Chapitre III : Etude et analyse thermodynamique d'une machine frigorifique qui fonctionne avec (NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O)***

III.1 Introduction .....	35
III.2 Description .....	35
III.3 Fonctionnement de cycle frigorifique de machine à absorption (NH <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O).....	36

III.4	Calcul thermodynamique .....	37
III.4.1	Bilans énergétiques .....	37
III.4.2	Diagrammes utilisés .....	37
III.5	Mise en équation.....	40
III.6	Paramètres fondamentaux des substances pures .....	43
III.7	Conclusion .....	43

***Chapitre IV: Interprétations des résultats***

IV.1	Introduction .....	45
IV.2	Interprétations des résultats .....	45
IV.3	Evolution du COP en fonction de la température de du bouilleur .....	45
IV.4	Variation du COP en fonction de la température de condensation .....	46
IV.5	L'évolution des chaleurs en fonction de TB .....	47
IV.6	L'évolution des chaleurs en fonction de TC .....	48
IV.7	Application pour quelques cas pratique.....	48
IV.8	Conclusion.....	50

Conclusion Générale

Références

## Listes des figures

Figure (I.1) : Diagramme énergétique d'une machine frigorifique.

Figure (I.2). Installation de réfrigération solaire à absorption.

Figure (I.3). Machine frigorifique à absorption NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O en cours de montage

Figure (I.4) : Schéma d'un système frigorifique à compression de vapeur simple.

Figure (I.5). Machine à absorption simple étage par la superposition de deux cycles de Rankine d'une machine thermique et PAC.

Figure (I.6). Principe de fonctionnement de condenseur

Figure (I.7). Principe de travail de l'évaporateur

Figure (I.8). L'absorbeur.

Figure (I.9). Le bouilleur

Figure (I.10): Principe de la machine par absorption

Figure (II.1): machine frigorifique (transfert de chaleur d'une source froide à une source

Figure (II.2): cycle frigorifique de référence

Figure (II.3) : Exemples des cycles idéaux

Figure (II.4) : Cycle de Rankine inverse

Figure (II.5) Représentation schématique du cycle frigorifique à absorption en utilisant la séparation de phase (notant l'absence du condenseur)

Figure (II.6) : Courbe de solubilité du couple frigorigène

Figure (II.7) : Schéma du transfert de chaleur

Figure (II.9) : Schéma du transfert de chaleur convectif

Convectif

Figure (II.8): Schéma du transfert de chaleur radiatif

Figure (III.1) : Schéma du cycle frigorifique à absorption simple. Thermodynamique une approche pragmatique Cengel.

Figure (III.2) : Diagramme d'Oldham du couple NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O.

Figure (III.3) : Diagramme de Meckel (NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O).

Figure (IV.1) : Evolution du COP en fonction de la température du bouilleur pour (TC=10°C, 20°C, 30°C)

Figure (IV.2) : Evolution du COP en fonction de la température du bouilleur pour (TB=100°C, 80°C, 70°C)

Figure (IV.3) : Evolution de la cop en fonction de la température du bouilleur pour (TB=80°C, 90°C, 100°C)

Figure (IV.4) : L'évolution des chaleurs en fonction de TB

Figure (IV.5) : l'évolution des chaleurs en fonction de TC

Figure (IV.6): L'évolution de refroidie la production de la glace COP en fonction de TB

Figure (IV.7): L'évolution de refroidie la pomme le COP en fonction de TB

Figure (IV.8): L'évolution de refroidie de viande COP en fonction de TB

## **Listes des tableaux :**

Tableau (1) : les paramètres fondamentaux des substances pures.

# *Introduction générale*

## **Introduction générale**

Le froid est le terme utilisé pour désigner un manque relatif de chaleur, cependant dans un sens plus large, c'est un moyen de conserver des aliments ou des produits pouvant être altérés et détruits par la chaleur.

Le froid est devenu une forme d'énergie importante dans notre société, il est utilisé dans un grand nombre de secteurs tel que la climatisation, le refroidissement des procédés industriels, la conservation des denrées alimentaires, les machines utilisées pour produire le froid on peut.

Les machines frigorifiques elles servent à extraire de la chaleur aux milieux à refroidir. Elles rejettent cette chaleur, accompagnée de l'équivalent thermique de l'énergie reçue, à température plus élevée, dans le milieu ambiant. Si le froid qu'elles produisent alors est généralement sans utilité c'est la chaleur rejetée à température plus élevée qui est utilisée.

La chaleur ne peut passer spontanément d'un corps froid vers un corps chaud. C'est l'énoncé de Clausius du second principe de la thermodynamique, Si l'on veut effectuer le transfert de chaleur, dans le sens antinaturel, d'un milieu froid vers un milieu chaud, il faut, nécessairement, d'une part, imaginer et mettre en œuvre un système thermique particulier, et, d'autre part, fournir de l'énergie au système.

Lorsque le but recherché est l'extraction de chaleur à un corps, ou à un milieu, pour le refroidir ou le maintenir à une température inférieure à celle de l'ambiance, c'est-à-dire lorsque le rendement du système augmente en abaissant la température de condensation, il s'agit de produire du froid, le système thermodynamique qui effectue cette opération prend naturellement le nom de machine frigorifique.

Cette étude que nous abordé et concerne une étude paramétrique de certains facteurs influents de la machine le (COP), tel que la température de bouilleur, la température de l'absorbeur et la fraction de fluide frigorigène.

Pour ce la nôtre travail est divisé en quatre chapitres importants ;

Dans le premier chapitre est une bibliographie sur les installations de réfrigération avec leurs principes de fonctionnement dans l'industrie ainsi que des quelques procédures de production de froid par machine frigorifique.

Dans le deuxième chapitre est une étude thermodynamique de l'installation frigorifique.

Dans le Troisième chapitre est une exhaustif d'une machine frigorifique à absorption ( $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$ ).

Le dernier chapitre est consacré à la simulation et le calcul des performances de la machine à absorption.

En parachève par une conclusion générale.

***Chapire I : Généralités et revue  
bibiolgraphique***

## **I.1 Introduction**

L'équipement frigorifique fait aujourd'hui partie de la vie quotidienne, de par ses nombreuses applications qui vont de la conservation des produits alimentaires, pharmaceutiques et autres à la climatisation.

Ce chapitre présente une revue bibliographique concernant surtout l'évolution des moyens de production de froid, passant des voies les plus simples et naturelles à la conception et réalisation de machines frigorifiques très performantes, particulièrement celles utilisant des systèmes à absorption classiques sous diverses formes, en réfrigération, en pompe à chaleur, ou en thermo-frigo pompe.

Les dernières avancées technologiques des machines à absorption, notamment celles à démixtion sont aussi rapportées et discutées, de par leur importance pour le présent travail.

Le froid est devenu une forme d'énergie importante dans notre société. Utilisé dans un grand nombre de secteurs et sous de nombreuses formes (conservation de denrées périssables, climatisation, refroidissement de procédés industriels etc).

## **I.2 Historique du froid**

Produire du froid est un procédé relativement récent à l'échelle historique. Durant l'antiquité, Grecs et Romains conservaient le froid hivernal sous forme de neige ou de glace stockée dans des abris souterrains isolés à l'aide de paille ou de foin, ce qui permettait de rafraîchir les boissons et la nourriture même pendant l'été. C'est durant cette même période de l'histoire que l'on découvrit que l'on pouvait obtenir des températures plus basses en mélangeant de la glace pilée et du sel marin. Plus récemment, au XIXème siècle, la production de froid se développa très rapidement avec l'avancement des connaissances en électricité.

**1805** : La première machine frigorifique à compression d'éther est imaginée par l'Américain Evans.

**1835** : Un autre Américain, Perkins, réalise à Londres le premier circuit frigorifique avec de l'éther comme fluide frigorigène. Cette machine, qui fabrique de la glace, n'a pas retenu l'attention des industriels. L'industrie du froid ne prend son essor que plusieurs dizaines d'années plus tard, notamment avec l'emploi des moteurs électriques.

**1844** : Création de la machine frigorifique à air.

**1857** : Ferdinand Carre réalise la première machine frigorifique à compression, la première machine à absorption à fonctionnement continu (1860). Il est également le premier à utiliser l'ammoniaque comme fluide frigorifique. [1]

**1859** : Apparition de la première machine frigorifique à absorption.

**1876** : Charles Tellier aménagea le premier navire à cales réfrigérées, qui réussit à transporter sur le trajet Rouen Buenos Aires des viandes conservées en parfait état [1].

**1913** : Le premier réfrigérateur domestique fait son apparition.

**1919** : La marque Frigidaire fait son apparition ;

**1928** : Découverte des molécules de CFC 12 par Midgley & Henne de la division Frigidaire de General Motors .

**1931** : La fabrication industrielle commence avec Electrolux.

**1964** : Les réfrigérateurs à 2 portes font leurs apparitions.

**Années 70** : Les appareils s'accessoirisent : lumière, différents compartiments ;

**Années 80** : Apparitions des premiers réfrigérateurs combinés et des appareils bimoteurs.

**Années 2000** : Le véritable défi devient l'environnement.

### **I.3 Historique des machines frigorifique à absorption**

La première machine frigorifique a été conçue en 1877 par Narine qui a utilisé le mélange eau-acide sulfurique dans une installation de laboratoire fonctionnant en continu.

Ceci a marqué le début des recherches dans le domaine de la production du froid, bien que l'utilisation de ce mélange a cessé à partir de 1920 pour des raisons de corrosion et de toxicité [2, 3]. L'idée de produire du froid à l'aide de systèmes à absorption est née durant les années 1859-1860 grâce à Ferdinand Carré qui a déposé le brevet de la première machine frigorifique à absorption fonctionnant avec le couple ammoniac (frigorigène), eau (absorbant) [1,2].

En utilisant la découverte de Joseph Priestley qui avait constaté en 1784 la grande affinité de ces deux fluides l'un pour l'autre. Le brevet de Carré prévoyait deux types de machines pour la production de la glace: une à faible puissance et à fonctionnement intermittent et une autre plus puissante à cycle continu [2].

A partir de 1880, Linde« *Linde's Icessq !a Machine Company* » a mis au point en Europe la première installation à compression de vapeur au détriment de la machine à absorption qui commença alors à perdre de son importance. Une véritable renaissance a été enregistrée au début des années 20, toujours avec le mélange eau- ammoniac grâce aux améliorations proposées par Altenklich, Merkele, Bosniakovic et Niebergall sur l'aspect pratique et théorique[2].

Les années 40 ont vu apparaître, aux Etats-Unis, la machine à absorption eau-bromure de lithium, où l'eau est le frigorigène, selon une adaptation du cycle de Carré qui est depuis largement utilisée en climatisation [1,2].

Cependant le marché de systèmes à absorption a connu un repli aux années 50 dû au développement des machines à compression possédant une architecture plus simple et ayant des performances énergétiques meilleures [2].

Dès 1960 une industrie Japonaise des climatiseurs s'est développée où au début, les machines étaient toutes du type à compression, actionnées par un moteur électrique. Mais les climatiseurs à absorption fonctionnant avec la solution d'eau-bromure de lithium, actionnés par combustion de gaz, se développèrent aussi rapidement pour aboutir à la commercialisation d'un climatiseur à deux étages, de conception Japonaise en 1964 [2].

L'année 1970 a marqué le début de la production et de la commercialisation des groupes à absorption à gaz, dépassant celles des machines à absorption, (Les groupes à absorption GA sont des machines de production d'eau glacée monobloc à refroidissement par air, l'alimentation en énergie étant assurée par la combustion du gaz naturel ou du propane).

Actuellement et en raison de la conscience écologique de plus en plus grandissante, l'utilisation de l'énergie renouvelable est devenu un recours plus fréquent et en même temps très attractif, créant un cadre de renaissance et de développement pour les pompes à chaleur, dépassant les défauts techniques qui ont pu stopper l'essor de la première génération vers les années 80. Par conséquent, les machines à absorption s'avèrent être des systèmes assez fiables et économiques tout en n'ayant aucune incidence négative envers l'environnement.

#### **I.4 Définition d'une machine frigorifique**

C'est donc un système de froid qui transfère des calories d'un milieu à haute niveau de température vers un milieu où la température doit être inférieure.

La machine frigorifique, c'est un système thermodynamique ce produise le froid, On peut définir la production du froid comme la mise en œuvre d'une suite de transformations thermodynamiques permettant d'extraire de la chaleur d'un milieu (source froide) pour abaisser et/ou maintenir sa température en dessous de la température ambiante. [2]

Ces transformations sont subies par une substance active (le frigorigène) qui prélève de la chaleur à la source froide, en rejette dans la source chaude et à laquelle on doit apporter de l'énergie en compensation.

Le fluide reçoit de la chaleur de la source froide ( $Q_e > 0$ ), fournit de la chaleur à la source chaude ( $Q_c < 0$ ) et reçoit du travail de la part de l'utilisateur ( $W > 0$ ).

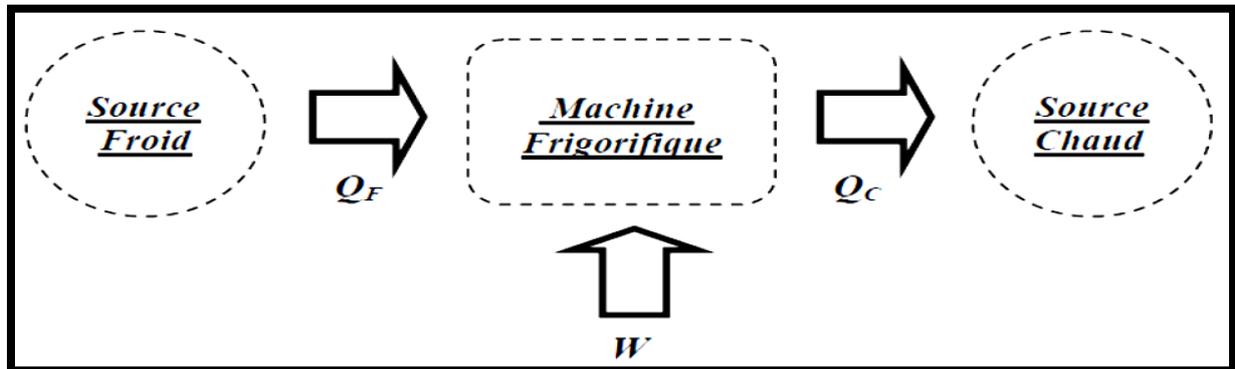


Figure (I.1) : Diagramme énergétique d'une machine frigorifique. [2]

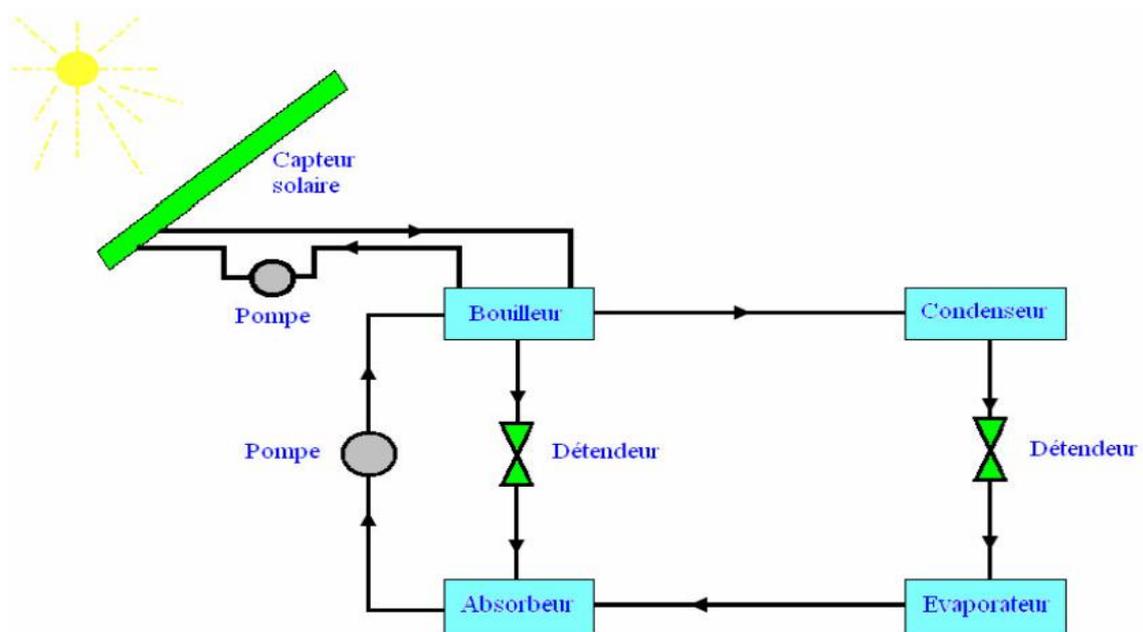


Figure (I.2) : Installation de réfrigération solaire à absorption. [19]



**Figure (I.3) :** Machine frigorifique à absorption NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O en cours de montage  
(document Colibri) [16]

## I.5 Principe de fonctionnement d'une machine frigorifique

Le système frigorifique à compression de vapeur le plus courant fonctionne grâce à un frigorigène situé dans un circuit fermé comprenant un compresseur, un condenseur, un organe de détente, un évaporateur et des tuyauteries de raccordement (Figure I.1).

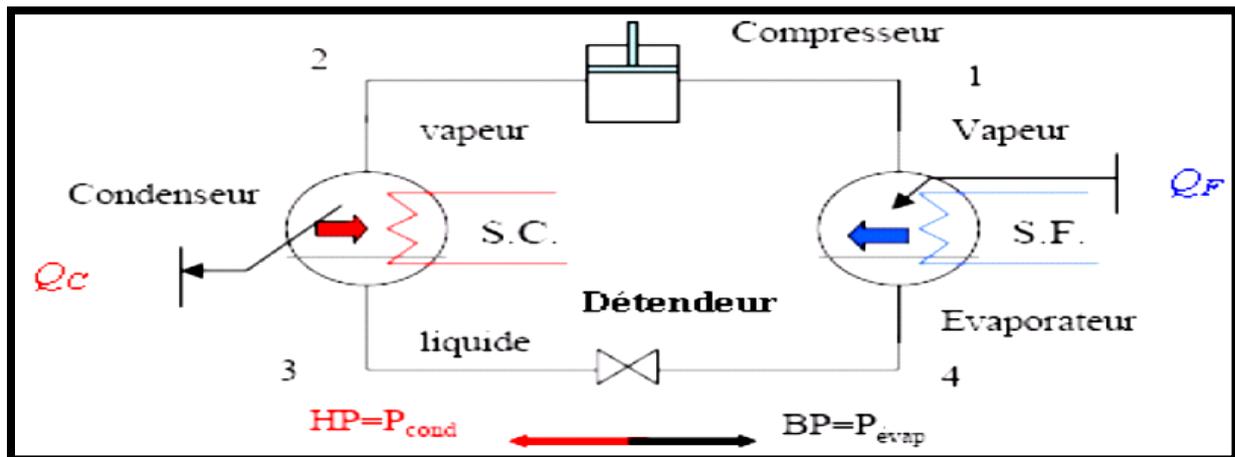
La vapeur du frigorigène comprimé à haute pression est condensée à haute température dans le condenseur par transfert de chaleur ( $Q_c$ ) vers le milieu environnant.

La pression du frigorigène à l'état liquide est réduite dans le détendeur. A basse pression et basse température, le frigorigène se vaporise, ce qui permet d'extraire la chaleur ( $Q_e$ ) de la substance à refroidir.

Pour compléter le cycle, à la sortie de l'évaporateur, la vapeur du frigorigène à basse pression est comprimée et portée à haute pression par le compresseur.

La chaleur totale rejetée au niveau du condenseur correspond à la somme de la chaleur extraite à l'évaporateur et de l'énergie ( $WC$ ) consommée par le compresseur [3].

Le changement d'état liquide-vapeur est le phénomène majeur sur lequel on s'appuie pour produire du froid. On peut le mettre en œuvre dans des systèmes soit ouverts, soit fermés [2].



Figure(I.4) : Schéma d'un système frigorifique à compression de vapeur simple [2].

### I.6 Le principe de fonctionnement d'un système à absorption [3]

Dans sa version simple, la machine à absorption est constituée d'un évaporateur, un condenseur, un absorbeur, un générateur et une pompe de solution. Dans un système à compression, le froid est produit dans l'évaporateur où le fluide frigorigène s'évapore et la chaleur est rejetée dans le condenseur où le frigorigène se condense.

L'énergie qui permet d'élever la température et la pression du fluide frigorigène est fournie par l'énergie mécanique produite par le compresseur.

Dans un système à absorption, la compression de la vapeur du frigorigène est réalisée par l'absorbeur en combinaison avec une pompe de solution et le générateur, au lieu d'un compresseur mécanique de vapeur.

La vapeur générée par l'évaporateur est absorbée dans un liquide (l'absorbant) qui se trouve dans l'absorbeur. L'absorbant qui a absorbé la vapeur du frigorigène est pompé vers le générateur où le réfrigérant est relâché sous forme de vapeur qui est dégagée à son tour puis condensée dans le condenseur. L'absorbant concentré ou régénéré est alors reconduit jusqu'à l'absorbeur pour absorber de nouveau la vapeur du frigorigène.

La vapeur est fournie au générateur à haute température et rejetée de l'absorbeur à basse température.

## **I.7 La production du froid**

Si les systèmes de production du froid sont actuellement nombreux et variés, alors le principe reste toujours le même, il s'agit d'extraire une quantité de chaleur d'une source dite source utile à un niveau de température et injecter une quantité à un autre niveau de température est inférieure à celle de la source gratuite disponible (à la deuxième température), d'après le deuxième principe, un tel transfert reste impossible, l'apport d'une énergie est obligatoire. Suivant la nature de cette énergie mise en jeu (chaleur, travail). [3]

-Il existe plusieurs moyens principaux de production du froid.

## **I.8 Mélanges réfrigérants**

La dissolution de certains solides ou liquides dans un solvant absorbe une quantité de calories équivalente à sa chaleur latente de fusion. Par exemple le mélange de Calcium avec la neige diminue la température de congélation de la solution obtenue de 0°C à -5°C.

### **I.8.1 Détente d'un gaz comprimé**

Dans ce cas, le froid est produit par l'abaissement des températures d'un gaz soumis à une détente avec ou sans production de travail extérieur :

- a- Détente avec production du travail extérieur.
- b- Détente sans production de travail extérieur.

### **I.8.2 Evaporation d'un liquide pur ou d'un mélange de liquides pur**

C'est le procédé le plus utilisé pour la production du froid, il consiste à utiliser un gaz liquéfié qui s'évapore en absorbant la chaleur de la substance à refroidir.

Cette substance lui cède une certaine quantité de chaleur correspondante à la chaleur latente d'évaporation du liquide.

Avec ces trois moyennes il existe un quatrième moyen, le refroidissement thermoélectrique, Mais l'utilisation de ce moyen est limitée. Le procédé de production du froid le plus fréquemment utilisé et basé sur ce principe est celui où le fluide employé n'entre pas en contact direct avec la substance à refroidir et dans lequel le gaz est totalement recyclé. Ce procédé donne lieu à deux types de machines frigorifiques:

- Machines à compression mécanique.
- Machines à compression thermique.

L'application de cette phénoménale donne lieu à quatre types de machines frigorifiques.

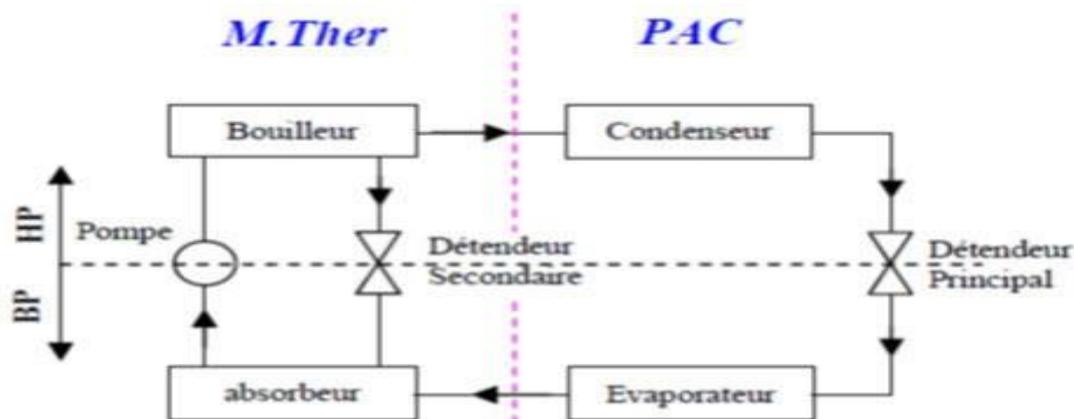
### I.9 Les machines frigorifiques à absorption liquide

Dans ces machines, le froid est produit par l'évaporation d'un liquide volatil. Les machines frigorifiques à absorption liquide fonctionnant grâce à la faculté de certains liquides d'absorber (réaction exothermique) et de résorber (réaction endothermique) une vapeur. Elles utilisent également le fait que la solubilité de cette vapeur dans le liquide dépend de la température et de la pression.

Ainsi, ces machines utiliseront comme fluide de travail un mélange binaire, dont l'un des composants est beaucoup plus volatil que l'autre, et constituera le fluide frigorigène. L'autre constituant sera appelé absorbant. Deux couples (frigorigène /absorbant) sont principalement utilisés :

- Eau + Bromure de Lithium ( $H_2O/LiBr$ ), l'eau étant le fluide frigorigène,
- Ammoniac+Eau ( $NH_3/H_2O$ ), l'ammoniac étant le fluide frigorigène [3]

Une machine a absorption peut être décrire à partir des composants semblables à ceux d'un cycle à compression de vapeur.



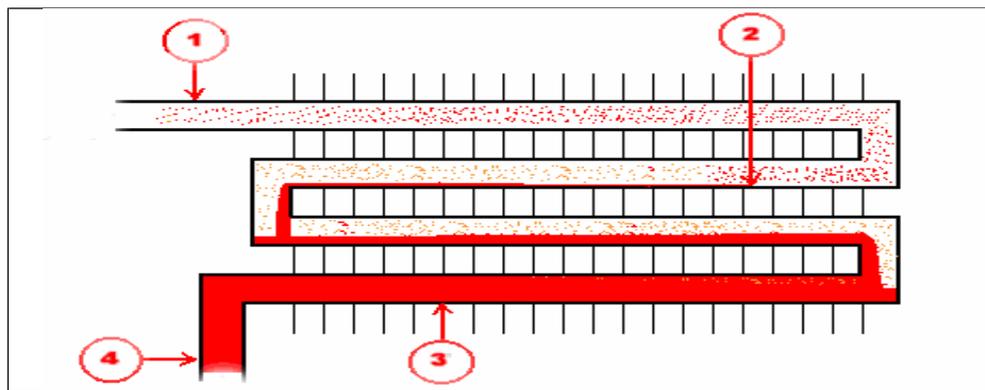
**Figure (I.5) :** Machine à absorption simple étage par la superposition de deux cycles de Rankine d'une machine thermique et pompe à chaleur. [16]

## I.10 Les éléments d'une machine à absorption

- **Condenseur**

Composant analogue à celui des machines à compression de vapeur. C'est la température  $T_0$  du fluide. Le caloporteur alimentant le condenseur qui fixe la température de condensation et donc la pression dans l'ensemble désorbeur/condenseur.

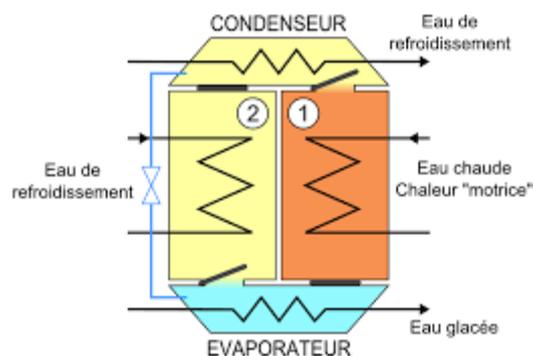
La condensation du frigorigène nécessite le rejet de la chaleur de condensation  $Q_{\text{cond}}$  au fluide caloporteur à la température  $T_0$ .



*Figure (I.6) : Principe de fonctionnement de condenseur [17]*

- **L'évaporateur**

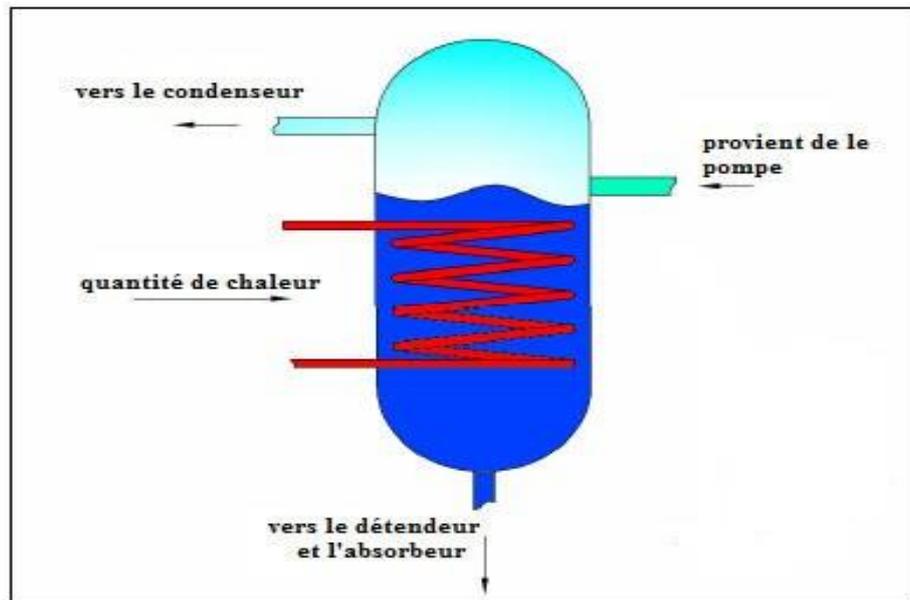
A la sortie du condenseur (point 1), le liquide subit un laminage à travers le détendeur (point 2), puis s'évapore en prenant la chaleur  $Q_{\text{evap}}$  à la température  $T_b$  du fluide ou l'enceinte à refroidir. La température d'évaporation, et par suite la pression dans l'ensemble évaporateur/absorbeur sont fixées par la température de la source froide  $T_b$ .



*Figure (I.7) : Principe de travail de l'évaporateur [18]*

- **L'absorbeur**

La vapeur issue de l'évaporateur (point 3) y rencontre la solution appauvrie provenant du désorbeur (point 8), Elle se dissout dans cette solution, provoquant par cette transformation exothermique, un rejet d'une quantité de chaleur qui sera évacuée par un fluide caloporteur à la température  $T_0$ , En sortie d'absorbeur (point 4), on obtient ainsi une solution enrichie en frigorigène. Ce composant effectue donc une opération de mélangeage.



*Figure (I.8) : L'absorbeur [16]*

- **Le bouilleur ou désorbeur**

La solution riche en frigorigène (point 5) y reçoit la quantité de Chaleur  $Q_{des}$  à une température  $T_h$  ce qui provoque la vaporisation d'une partie du frigorigène dissous dans la solution. On parle alors de désorption. En sortie du désorbeur, on obtient donc de la vapeur de frigorigène (point 7) et une solution appauvrie en frigorigène (point 6). Cet organe effectue donc une séparation. [3]

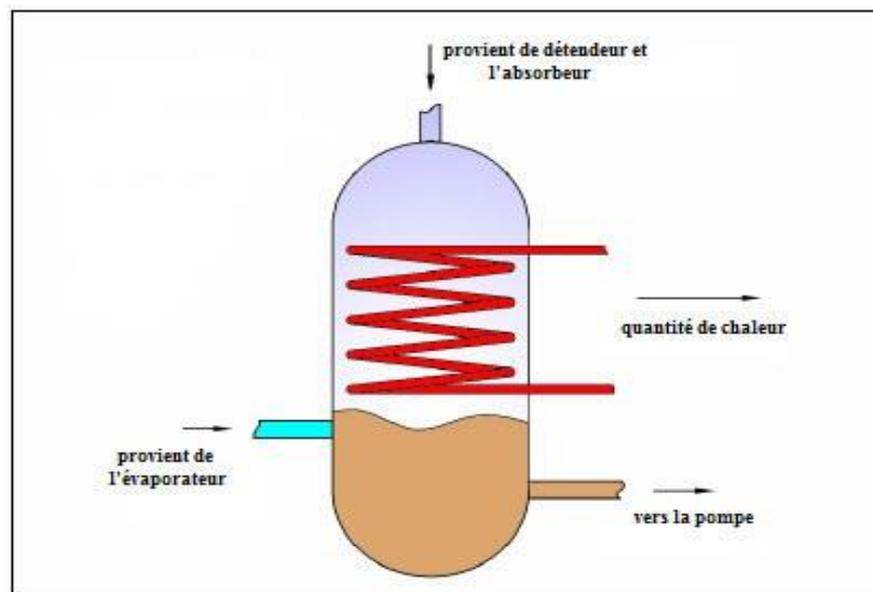


Figure (I.9) : Le bouilleur [16]

## I.11 Mélanges pour les machines à absorption

### I.11.1 Les conditions d'absorption des couples binaires

Durant toute l'histoire de l'absorption plusieurs couples ont été mis à l'épreuve une étude faite par Marcriss [4] montre qu'il y a plus de 40 composés réfrigérants et 200 absorbants disponibles, Cependant, les fluides les plus utilisés sont : ( $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$ ) et ( $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$ ).

Les performances d'une machine à absorption dépendent en premier lieu de la nature des fluides qu'elle utilise.

Différents critères sont à considérer pour choisir le couple (solvant-fluide frigorigène) à employer, ces critères dépendent des conditions d'utilisation de la machine. En premier lieu intervient la température des sources thermiques sollicitées. Celles-ci imposent par l'intermédiaire des températures de changement de phase du fluide frigorigène les niveaux de pression dans la machine.

Ceux-ci doivent rester dans une plage acceptable pour éviter, soit la très haute pression (sécurité et prix des enveloppes et des raccords), soit les fortes dépressions (problème d'entrée d'air) d'autres contraintes sont liées à la sécurité des utilisateurs (toxicité des fluides employés, inflammabilité et explosivité) ou la fiabilité de la machine (stabilité dans le temps des espèces chimiques, corrosion des parois, problèmes de lubrification).

La recherche de nouveaux couples est un problème complexe qui a donné lieu à de nombreux travaux.

Mais on préfère encore à l'heure actuelle n'utiliser dans les machines industrielles que deux types de mélange dont les propriétés sont bien connues, il s'agit du couple (NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O) et du couple (H<sub>2</sub>O/LiBr).

Ce dernier présente un avantage non négligeable, car lors de l'ébullition dans le bouilleur de la solution riche, seul le fluide frigorigène (l'eau) se vaporise le reste est le sel dans la solution, les machines à bromure de lithium n'ont donc pas besoin de rectificateur ; par contre des phénomènes de cristallisation des solutions de LiBr peuvent apparaître et cela a été un frein au développement de ces machines.

- Les machines frigorifiques fonctionnant avec le couple (H<sub>2</sub>O/LiBr) sont surtout utilisées dans la climatisation, à cause du risque de gel de l'eau dans l'évaporateur, leur utilisation ne peut s'étendre en dessous de zéro (0°C).

- Au contraire, pour les températures négatives, le mélange (eau /ammoniac) convient parfaitement, l'ammoniac qui est le fluide frigorigène (l'eau étant le solvant) avec un point de solidification à -77°C.

En outre ses chaleurs latentes mises en jeu sont importantes et le phénomène d'absorption est favorisé par le fait que l'eau est très avide de ce frigorigène. Elle dissout en effet près de 900 fois son propre volume de gaz ammoniac à 0°C et 1 atmosphère.

Les solutions aqueuses d'ammoniac donnent un mélange frigorigène qui se rectifie relativement bien, par exemple, un liquide qui contient 20% en masse d'ammoniac produit au début de son ébullition à 18 atmosphères une vapeur composée à plus de 70% d'ammoniac, Ces quelques caractéristiques très intéressantes font que le couple (NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O) a été et reste le fluide le plus intéressant pour les machines frigorifiques à absorption à basse température [5].

### **I.11.2 Caractéristique de couple binaire**

Les deux substances fluides frigorigène- agent absorbant qui doivent former le couple binaire ou solution dans les cycles frigorifiques à absorption doivent remplir un certain nombre de critères.

Un couple binaire parfait doit avoir les caractéristiques suivantes :

- Absence de phase solide.

- L'agent absorbant doit avoir une grande affinité pour le fluide frigorigène.
- Le fluide frigorigène doit être plus volatile que l'agent absorbant.
- Pressions de travail doivent être modérées.
- Stabilité chimique.
- Absence de corrosion.
- Sécurité, non toxique non inflammable.
- Faible viscosité.

Une grande chaleur latente du fluide frigorigène est désirable. Les couple (NH<sub>3</sub>/ H<sub>2</sub>O) et (H<sub>2</sub>O/ LiBr) sont les couples qui remplissent le plus de critères [5].

### **I.12 Différentes technologies d'absorption disponibles**

Habituellement, pour produire de l'eau glacée à une température supérieure à 0°C, le couple H<sub>2</sub>O/LiBr est utilisé avec l'eau comme réfrigérant. Cependant, d'autres couples sont possibles comme le couple H<sub>2</sub>O/LiCl ou encore NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O permettant de produire aussi de l'eau glacée à des températures inférieures à 0°C.

De nombreuses machines à absorption sont disponibles sur le marché, cependant habituellement la capacité frigorifique de ces machines est de l'ordre de quelques kW. Pendant plusieurs années, la plus petite machine disponible avait une capacité de 35 kW. Pour une machine à simple effet, la température de la source chaude doit habituellement être au-dessus de 80°C (certain fonctionnement encore jusqu'à 65°C, une fois mis en régime nominal), le coefficient de performance est alors de l'ordre de 0,6 à 0,8. Les machines à double effet utilisant un générateur sur deux étages nécessitent habituellement une température d'au moins 140°C, mais peuvent atteindre des COP de 1 à 1,2.

Néanmoins grâce à de récents progrès dans la filière, plusieurs constructeurs proposent désormais des machines de capacités inférieures à 50kW (jusqu'à 10 kW). Pour les problématiques de rafraîchissement et climatisation solaire, ce sont ces machines qui sont les plus souvent adoptées.

De plus, récemment un modèle de machine simple effet a été conçu pouvant fonctionner à plus faible température : à partir de 65°C, et ayant un COP toujours aux alentours de 0,7. Cela montre le fort potentiel d'amélioration des performances des machines à absorption. Les nouveaux développements pour les machines de petites et moyennes capacités ont été

récemment réalisés par les fabricants européens et asiatiques dans le but de couvrir les besoins de rafraîchissement pour des bâtiments de faibles surfaces de l'ordre de 200 m<sup>2</sup> à 500 m<sup>2</sup>. Les fabricants européens sont implantés en Allemagne, Autriche, Espagne, Suède, Italie, et Portugal. La plupart de ces récents matériels sont déjà testés dans des installations pilotes, de recherche ou de démonstration.

### **I.13 Machine frigorifique à absorption fonctionnant avec une solution de (NH<sub>3</sub>/ H<sub>2</sub>O)**

Le NH<sub>3</sub> (ammoniac) est le fluide frigorigène alors que l'agent absorbant est le H<sub>2</sub>O. Un cycle de machine à absorption à ammoniac comporte 8 éléments principaux) : un générateur-rectificateur, le condenseur, un détendeur de réfrigérant, un évaporateur, un absorbeur, un échangeur de solution, une pompe, un détendeur en sortie d'échangeur.

Cette machine utilise la propriété que présente l'eau à basse température d'absorber l'ammoniac (1000 fois son volume à 0°C) et de libérer par chauffage la presque totalité du gaz absorbé (à 100°C) [6]. Ces vapeurs d'ammoniac une fois condensées pourront donc nous assurer la production de froid désirée dans un évaporateur.

### **I.14 Principe de fonctionnement**

Une machine à absorption (NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O) fonctionne selon le cycle suivant :

- 1/ Un générateur-Rectificateur, qui reçoit de la source chaude un flux de chaleur, et dans lequel entre la solution riche à haute pression préchauffée dans l'échangeur de solution (point 2)
- 2/ Un condenseur, d'où sort la vapeur condensée et éventuellement sous-refroidie (point 3), la chaleur extraire étant rejetée à l'environnement ;
- 3/ Un détendeur de réfrigérant, qui réduit la pression du réfrigérant, qui en sort à l'état diphasique à basse température (point 4).
- 4/ Un évaporateur, dans lequel le réfrigérant à basse pression et température est vaporisé et éventuellement légèrement surchauffé (point 5), en prélevant à la source froide le flux de chaleur utile (effet frigorifique).
- 5/ Un absorbeur, dans lequel entrent le réfrigérant vaporisé et la solution pauvre refroidie dans l'échangeur de solution, et duquel sort la solution riche (point 7), la chaleur extraite étant rejetée à l'environnement.

6/ Un échangeur de solution, qui permet d'effectuer une régénération interne entre la solution riche et la solution pauvre ;

7/ Une pompe est nécessaire pour pressuriser la solution riche avant son entrée dans l'échangeur ;

8/ Un détendeur en sortie d'échangeur ramène la solution pauvre à la pression de

L'absorbeur [7].

9). Il en sort d'une par la vapeur de réfrigérant  $\text{NH}_3$  presque pure (point 1), et d'autre part la solution appauvrie

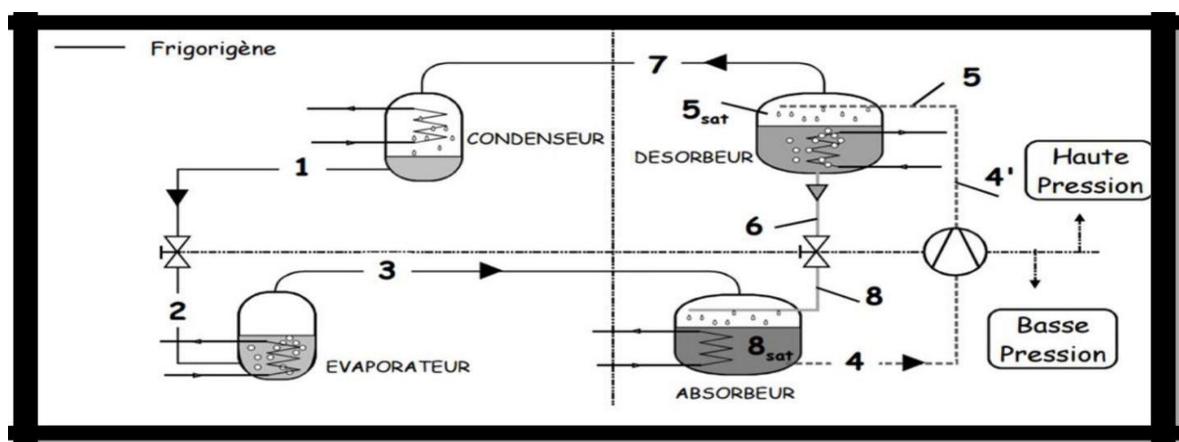


Figure (I.6): Principe de la machine par absorption [3]

### I.15 Machine à absorption fonctionnant avec une solution $\text{H}_2\text{O}-\text{LiBr}$

Ce sont des machines dans lesquelles on utilise l'affinité du bromure de lithium pour l'eau, le bromure de lithium étant le solvant et l'eau agissant en tant que fluide frigorigène. Les puissances frigorifiques de ces machines sont très élevées. Leur gamme s'étend de 170 KW à 3500 KW environ [20].

Elles sont très utilisées en conditionnement d'air, notamment aux U.S.A. L'innocuité du fluide frigorigène (eau) a contribué à leur développement ainsi que certaines simplifications de matériels rendues possibles grâce aux caractéristiques physiques de l'eau.

### I.16 Les avantages et les inconvénients d'eau-bromure de lithium

- **Avantage**
  - Chaleur latente massique plus grand comparativement avec les autres fluides réfrigérants, c'est un avantage dans les grandes installations en limitant les débits

nécessaires donc en réduisant les dimensions et par la suite le cout.

- L'eau est un fluide inflammable.
- Foible viscosity.
- Moins couteaux.
- L'eau non toxique

- **Inconvenient**

- Les températures inférieures à zéro degré (0°C) lui sont interdites afin d'éviter la congélation ce qui convient à la climatisation et la conservation des aliments.
- Danger de cristallisation surtout en transitoire.
- Bromure de lithium (BrLi) est couteux.

L'installation (H<sub>2</sub>O-BrLi) travaille sous vide à une pression nettement inférieure à la pression atmosphérique.

## **I.17 Conclusion**

Après un historique de la technique de machine à absorption, cette étude nous à donner un aperçu sur les principes de production du froid à l'aide des différentes machines frigorifiques.

Ainsi nous avant énuméré les différent composent d'une machine frigorifique à absorption.

***Chapitre II : Etude théorique  
d'une machine frigorifique***

## **II.1 Introduction**

L'étude des machines à absorption exige la compréhension préalable des cycles de production de froid basés sur la compression chimique des réfrigérants et leur transcription dans les diagrammes thermodynamiques.

Cette approche idéale permet de fixer les conditions de fonctionnement des machines, et l'évolution des propriétés thermo physiques et thermodynamique des fluides au cours du cycle, mais n'est pas suffisante pour permettre le dimensionnement les composants principaux des machines que sont les échangeurs multifonctionnels (Yang et Jou 1995). Pour ce faire, il est nécessaire de pouvoir estimer les transferts de masse et de chaleur qui s'y produisent.

## **II.2 Etude thermodynamique**

### **II.2.1 Premier principe**

Le premier principe de la thermodynamique stipule que lors de toutes transformations, il y a conservation de l'énergie. Dans le cas des systèmes thermodynamiques fermés, il s'énonce de la manière suivante : « Au cours d'une transformation quelconque d'un système fermé, la variation de son énergie est égale à la quantité d'énergie échangée avec le milieu extérieur, sous forme de chaleur (Q) et sous forme de travail(W). » [8]

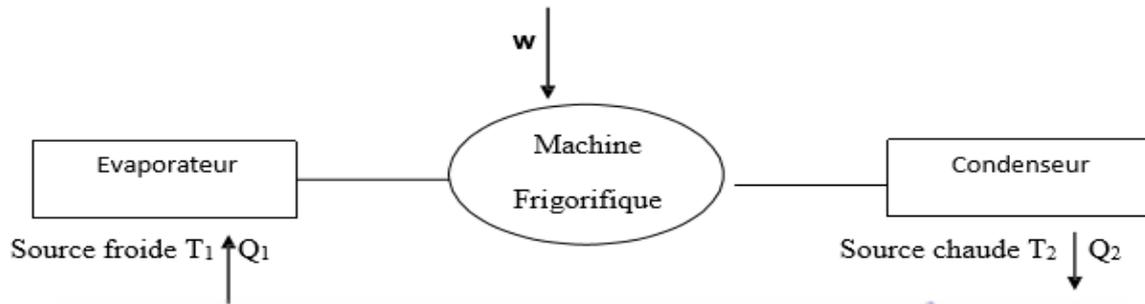
Dans un système cohérent d'unités, ce premier principe se traduit par la relation : W

### **II.2.2 Deuxième principe**

Le premier principe met en évidence la conservation des énergies mises en jeu dans un système. Le second principe permet de connaître l'évolution d'un système. En effet, on peut transformer en totalité du travail en chaleur, mais on ne peut pas toujours transformer de la chaleur en travail.

Lorsqu'un système évolue de manière cyclique entre 2 sources de chaleur, on caractérise une source froide à la température T1 et une source chaude à la température T2.

Les appellations « source froide »et « source chaude » sont des appellations relatives à un schéma déterminé. La température de la source chaude est toujours supérieure à la source froide. [8]



**Figure II.1:** machine frigorifique (transfert de chaleur d'une source froide à une source chaude).

Le système reçoit de la chaleur ( $Q_1$ ) de la source froide et du travail ( $W$ ). Il restitue de la chaleur ( $Q_2$ ) à la source chaude. En application du premier principe, on peut écrire:

$$W + Q_1 + Q_2 = 0 \quad (2.1)$$

Ce qui est reçu est compté positivement, ce qui est cédé négativement. Soit en valeur absolue:

$$Q_2 = Q_1 + W \quad \text{chaleur cédée} \quad (2.2)$$

$$Q_1 = Q_2 - W \quad \text{chaleur prélevée} \quad (2.3)$$

### II.3 Cycle frigorifique

Les différentes évolutions du fluide frigorigène dans la machine frigorifique sont représentées sur le diagramme enthalpique, il s'agit du cycle frigorifique de la machine communément appelée cycle de référence ou cycle pratique par les frigoristes [9]. Suivant (Figure I.2), le fluide frigorigène circulant dans le circuit frigorifique suit les évolutions suivantes :

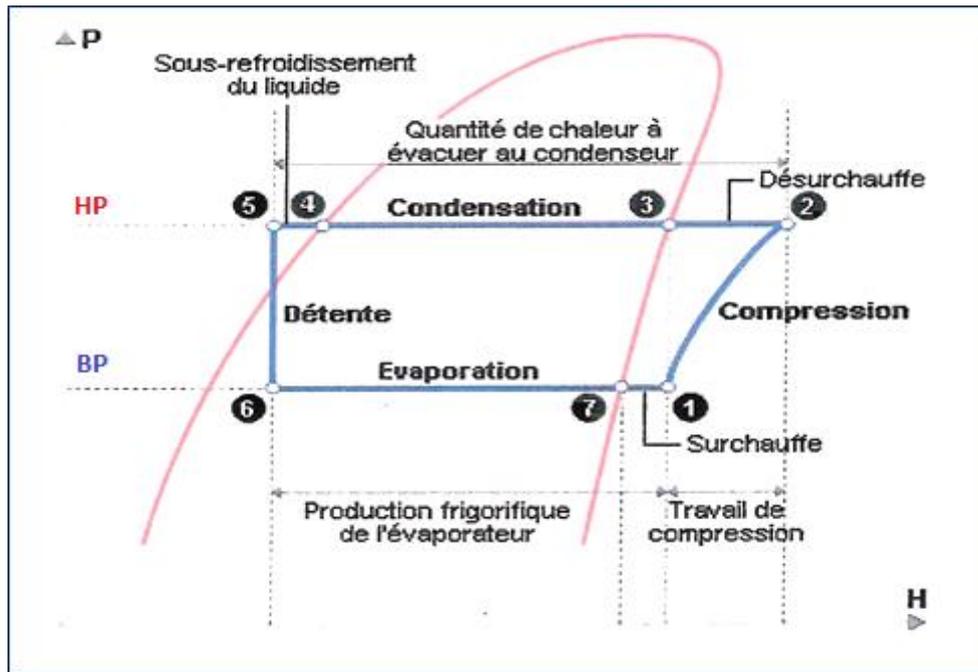


Figure (I.2): cycle frigorifique d'idéal.

**Entre 1 et 2:** évaporation du fluide frigorigène liquide (BP) qui devient des vapeurs de fluide frigorigène (BP).

**Entre 2 et 3:** surchauffe des vapeurs de fluide frigorigène (BP).

**Entre 3 et 4 :** compression des vapeurs de fluide frigorigène qui passent d'un niveau de basse pression (BP) à un niveau de haute pression (HP).

**Entre 4 et 5:** condensation des vapeurs de fluide frigorigène (HP) qui deviennent du FF liquide(HP).

**Entre 5 et 6:** sous refroidissement du fluide frigorigène liquide(HP).

**Entre 6 et 1 :** détente du fluide frigorigène liquide (HP) qui devient un mélange de liquide (BP) et d'une faible quantité de vapeurs (BP). Le cycle frigorifique de référence (cycle pratique) permet d'effectuer l'étude et le dimensionnement des machines frigorifique avec une précision acceptable. [9]

#### II.4 Rappel sur les cycles (le cycle idéal de Carnot)

L'étude des machines thermiques permet de tracer les cycles correspondant à la transformation du fluide dans des diagrammes thermodynamiques. Nous pouvons citer le cycle idéal de Carnot sont les suivantes :

- Une compression et une détente isotropique.
- Une compression et une détente isotherme.

Ils existent trois autres cycles idéaux :

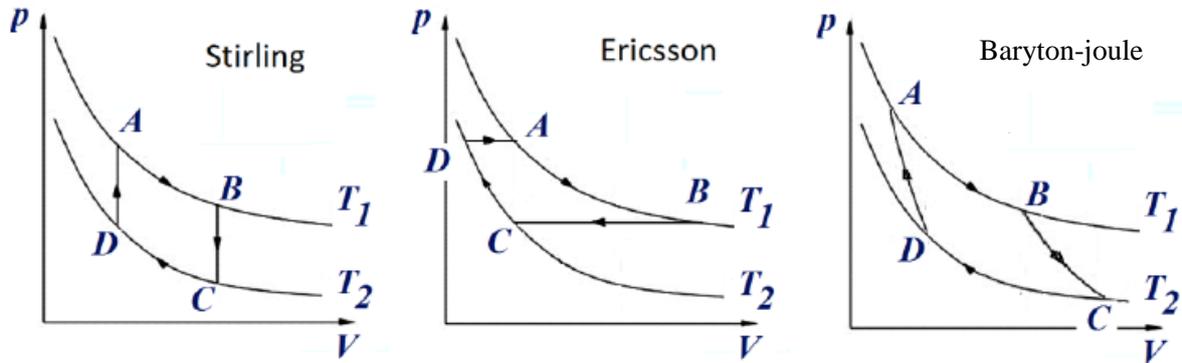


Figure (II.3) : Exemples des cycles idéaux [10].

Les cycles de Stirling, Ericsson et Baryton-joule dont les caractéristiques sont représentées dans les diagrammes (température, entropies) (T, S) de la figure (II.3). [10]

## II.5 Caractéristiques de performance des cycles

Pour évaluer les performances d'un cycle, nous utilisons le coefficient de performance (cop), par définition il est le rapport entre l'énergie thermique utile et la dépense énergétique

$$\text{cop} = \frac{\text{énergie thermique utile}}{\text{dépense énergétique}} \quad (2.4)$$

Pour une machine de Carnot, nous désignons par  $T_C$  et  $T_F$  les températures des deux sources chaude et froide respectivement. Ecrivons les premiers et seconde principes de la thermodynamique appliqués sur un cycle :

$$w + Q_C + Q_F = 0 \quad (2.5)$$

$$\frac{Q_C}{T_C} + \frac{Q_F}{T_F} = 0 \quad (2.6)$$

## II.6 Les cycles à changement de phase

Ces cycles présentent un intérêt majeur car ils utilisent les changements d'état de fluide grâce à ce phénomène, nous pouvons récupérer les chaleurs de vaporisation du fluide et travailler à pression constante lors des changements de phase. Nous avons les cycles à compression de vapeur. Le cycle idéal est connu sous le nom de cycle de Rankine inverse ou cycle de Perkin-Evans.

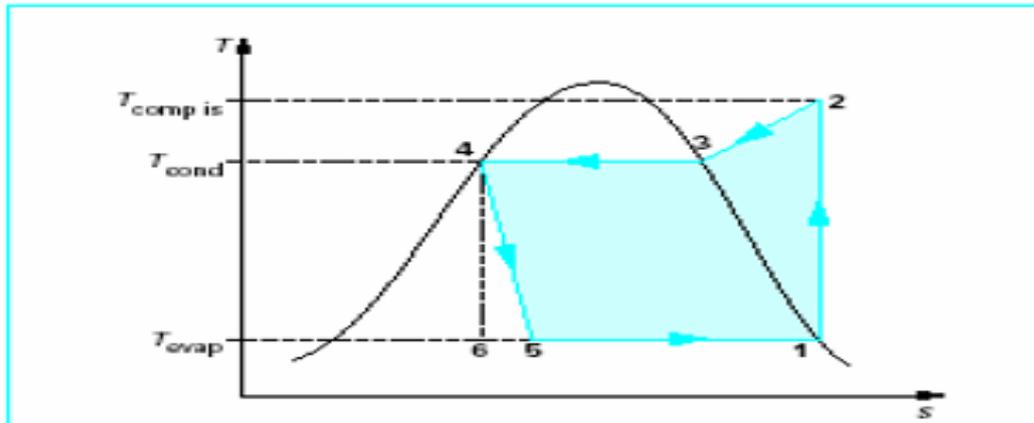


Figure (II.4): Cycle de Rankine inverse. [2]

La description du cycle est la suivante :

1-2 : compression du fluide (isotrope).

2-3 : refroidissement du fluide.

3-4 : condensation du fluide.

5,6-1 : Evaporation du fluide.

Bien souvent, la compression 1-2 n'est pas isotropique, pour cela nous faisons intervenir un rendement  $\eta$  isentropique qui correspond au rapport entre le travail isentropique reçu par le système  $w^s$  par rapport au travail réel  $w^R$ .

$$\eta = \frac{w^s}{w^R} \quad (2.7)$$

## II.7 Fluides de travail utilisés

Les fluides de travail appropriés pour ce cycle sont généralement des solutions binaires (fluide frigorigène – agent absorbant) liquides qui subissent une séparation de phase aux conditions adéquates pour le fonctionnement du cycle. L'un des critères supposé être souhaitable pour ces fluides est la présence d'une température critique inférieure de la solution [11], en dessous de laquelle aucune séparation de phase n'aura lieu comme montré par la figure (II.5). Les paires de fluides adéquates pour le fonctionnement de cette machine ne sont pas systématiquement connues [11] mais font l'objet de recherches assez intéressantes, particulièrement avec le développement des méthodes prédictives de calcul des propriétés thermodynamiques des mélanges en conjonction avec celui des méthodes de conception moléculaire.

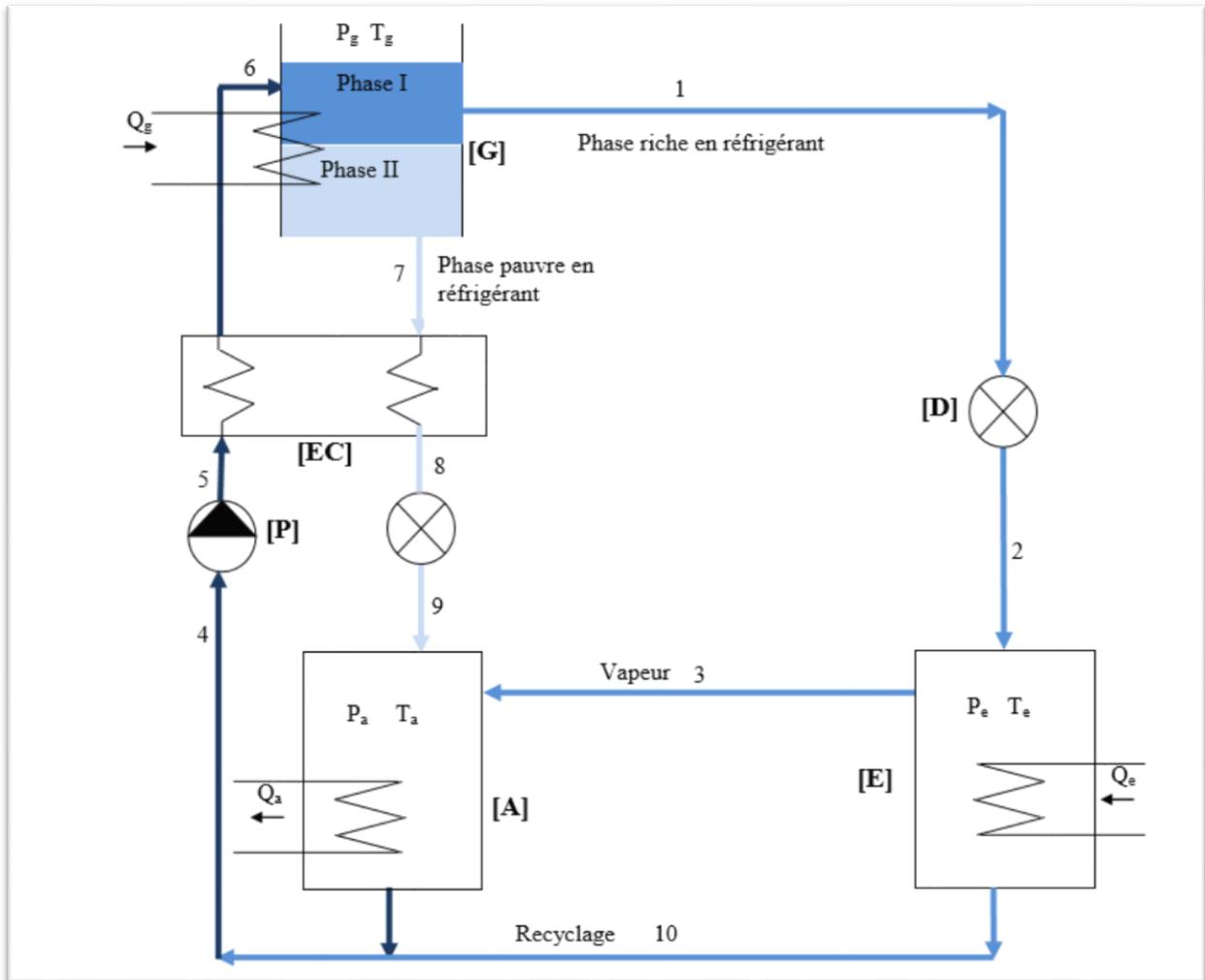


Figure (II.5) : Représentation schématique du cycle frigorifique à absorption en utilisant la séparation de phase (notant l'absence du condenseur). [12]

-[G] : Générateur ; - [P] : Pompe.

-[D] : Détendue ; -[A] : Absorbeur.

-[E] : Evaporateur ; - [EC] : Echangeur de chaleur.

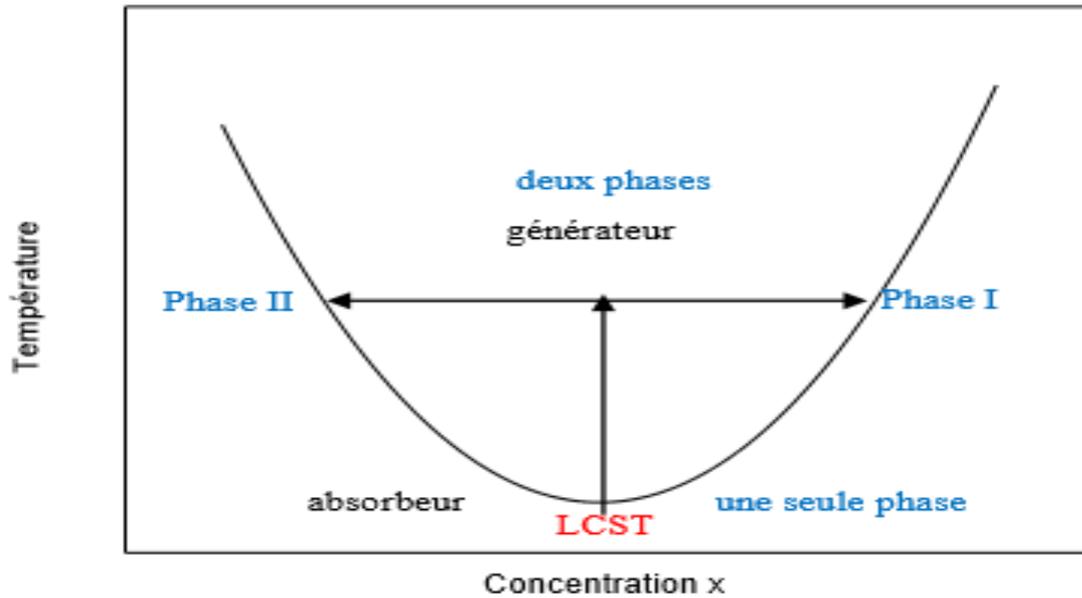


Figure (II.6) : Courbe de couple frigorigène. [12]

Un processus de production du froid signifie généralement une absorption de la chaleur, c'est-à-dire prélever de la chaleur sur un milieu à refroidir appelé source froide, et la transférer vers un milieu extérieur qui est réchauffé, appelé source chaude.

Sur les divers procédés de production du froid, le système envisagé dans cette étude est le système à absorption utilisant le couple ammoniac-eau avec la pompe mécanique qui est remplacée par un thermo-émulseur.

Dans le fonctionnement d'une machine à absorption, on utilise un gaz de soutien qui équilibre les pressions entre le condenseur et l'évaporateur tout en permettant l'évaporation du réfrigérant et donc la production du froid.

## II.8 Flux de chaleur

La chaleur s'écoule sous l'influence d'un gradient de température des hautes vers les basses températures. La quantité de chaleur transmise par unité de temps et par unité d'aire de la surface isotherme est appelée densité de flux de chaleur :

$$\phi = \frac{1}{S} \frac{dQ}{dt} \quad (2.8)$$

Où S est l'aire de la surface (m<sup>2</sup>).

## II.9 Expression des flux d'énergie

Il faut ensuite établir les expressions des différents flux d'énergie. En reportant ces expressions dans le bilan d'énergie, on obtient l'équation différentielle dont la résolution permet de connaître l'évolution de la température en chaque point du système. [13]

- **Conduction** : C'est le transfert de chaleur au sein d'un milieu opaque, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température. La propagation de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes distincts : une transmission par les vibrations des atomes ou molécules et une transmission par les électrons libres.

La théorie de la conduction repose sur l'hypothèse de Fourier : la densité de flux est proportionnelle au gradient de température :

$$\vec{\phi} = -\lambda s \text{grad}(T) \quad (2.9)$$

Avec :

$\vec{\phi}$  : Flux de chaleur transmis par conduction (w)

$\lambda$  : Conductivité thermique du milieu ( $Wm^{-1}C^{-1}$ )

S : Aire de la section de passage du flux de chaleur ( $m^2$ )

- **Convection** : C'est le transfert de chaleur entre un solide et un fluide, l'énergie étant transmise par déplacement du fluide. Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de Newton :

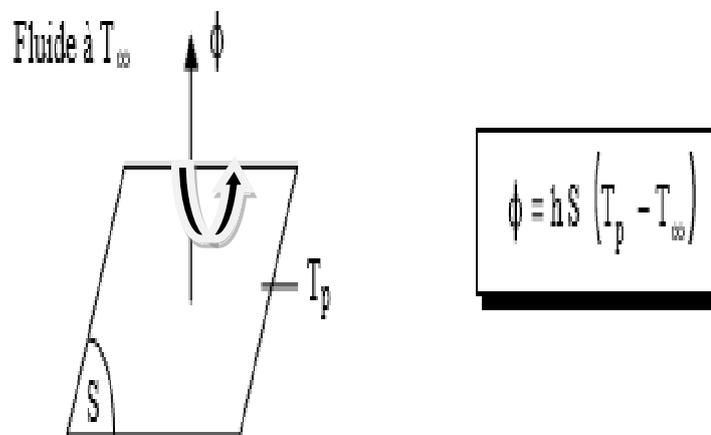


Figure (II.7) : Schéma du transfert de chaleur convectif [20].

Avec :

$\phi$  : Flux de chaleur transmis par convection (w)

$h$  : Coefficient de transfert de chaleur par convection ( $Wm^{-2} \text{ } ^\circ C^{-1}$ )

$T_p$  : Température de surface du solide ( $^\circ C$ )

$T_\infty$  : Température du fluide loin de la surface du solide ( $^\circ C$ )

$S$  : Aire de la surface de contact solide/fluide ( $m^2$ )

➤ **Rayonnement :**

C'est un transfert d'énergie électromagnétique entre deux surfaces (même dans le vide). Dans les problèmes de conduction, [13] on prend en compte le rayonnement entre un solide et le milieu environnant et dans ce cas nous avons la relation :

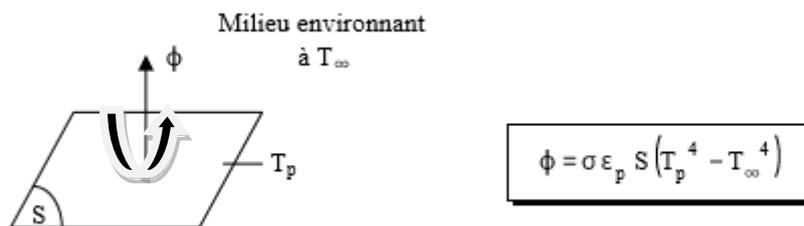


Figure (II.8) : Schéma du transfert de chaleur radiatif [20]

Avec :

$\phi$  : Flux de chaleur transmis par rayonnement (w)

$\sigma$  : Constante de Stefan ( $5.67 \times 10^{-8} Wm^{-2} K^{-4}$ )

$\varepsilon_p$  : Facteur d'émission de la surface ( $m^2$ )

$T_p$  : Température de la surface (K)

$T_\infty$  : Température du milieu environnant la surface (K)

$S$  : Aire de la surface ( $m^2$ )

## II.10 Détermination des coefficients de transferts de masse et de chaleur

De nombreuses études expérimentales ont été réalisées sur l'absorption de vapeur par des solutions ruisselantes sur des surfaces verticales de sorte à pouvoir établir des corrélations décrivant les transferts de masse et de chaleur ou valider les modèles analytiques ou numériques.

Les travaux dédiés au couple H<sub>2</sub>O/NH<sub>3</sub> représentent une part importante de ces études. Ils sont caractérisés par des conditions de travail à basse pression conduisant à une maîtrise difficile des gaz incondensables.

La quasi-totalité des études aborde les transferts de manière globale en exploitant les mesures de concentration et de température réalisées en entrée et sortie des échangeurs. Les calculs des coefficients de transferts globaux s'inspirent généralement des méthodes utilisées dans le cas des échangeurs de chaleur qui mettent en œuvre les moyennes logarithmiques des écarts de température :

$$Q = US\Delta T_{\ln} \quad (2.10)$$

Avec U le coefficient d'échange global, S la surface d'échange de référence et

$$\Delta T_{\ln} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (2.11)$$

La moyenne algorithmique des écarts de température

Dans le cas des échangeurs à plaques le coefficient d'échange global s'exprime en fonction des coefficients d'échanges moyens  $h_1$  et  $h_2$  de chacun des fluides : ( $Wm^{-2} \text{ } ^\circ C^{-1}$ )

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_1} + R_1 + \frac{e}{\lambda} + R_2 + \frac{1}{h_2}$$

Avec  $e$  et  $\lambda$  l'épaisseur et la conductivité de la paroi,  $R_1$  et  $R_2$  les résistances thermiques d'encrassement.

Le coefficient d'échange moyen pour un fluide peut être déduit du coefficient d'échange global connaissant le coefficient d'échange du deuxième fluide, ou en se plaçant dans une condition telle que la résistance thermique du deuxième fluide puisse être considérée comme négligeable.

## **II.11 Stockage d'énergie**

Le stockage d'énergie dans un corps correspond à une augmentation de son énergie interne au cours du temps d'où (à pression constante et en l'absence de changement d'état)

Elle intervient lorsqu'une autre forme d'énergie (chimique, électrique, mécanique, nucléaire) est convertie en énergie thermique.

### **II.11.1 Le stockage de l'énergie solaire**

Le stockage de l'énergie est l'action qui consiste à placer une quantité d'énergie en un lieu donné pour permettre son utilisation ultérieure. Par extension, le terme "stockage d'énergie" est souvent employé pour désigner le stockage de matière qui contient cette énergie.

Le stockage de l'énergie captée permet de pallier le caractère discontinu de l'énergie solaire. L'accumulation de l'énergie dans le stockage se traduit par une élévation de sa température.

Pour apprécier l'efficacité d'un système de stockage, il faut rappeler que le rendement d'un capteur dépend essentiellement de la température moyenne du fluide qui le traverse, donc de la température du fluide au retour du stockage. L'une de caractéristiques essentielles de l'aptitude à l'emploi du stockage sera de fournir, à l'entrée des capteurs, un fluide dont la température sera la plus basse possible.

Le transfert de chaleur des capteurs vers le ballon s'effectue de deux façons différentes :

- par circulation forcée avec une pompe commandée.
- par un dispositif de régulation, par circulation naturelle ou thermosiphon.

Les systèmes fonctionnant par thermosiphon présentent l'avantage par rapport aux systèmes habituels avec calculateur de ne nécessiter aucun dispositif de régulation des apports solaires, ni des pompes de mise en circulation du fluide caloporteur. Cependant, dans les faits, les installations en thermosiphon ne concernent généralement que certaines fabrications de chauffe-eau individuels et restent l'exception pour les installations collectives.

En raison des problèmes hydrauliques posés par les champs de capteurs de grandes dimensions, et des contraintes architecturales posées par la disposition des capteurs sous le stockage, circulation du fluide caloporteur par thermosiphon est, sauf cas particulier, mal adaptée aux installations collectives.

Le stockage de chaleur peut être réalisé à travers deux phénomènes différents associés aux matériaux qui assurent le stockage. On parle alors de stockage par chaleur sensible et de stockage par chaleur latente

### **II.11.2 Le stockage par chaleur sensible**

Dans le stockage par chaleur sensible, l'énergie est stockée sous la forme d'une élévation de température du matériau de stockage. La quantité d'énergie stockée est alors directement proportionnelle au volume, à l'élévation de température et à la capacité calorifique du matériau de stockage. Ce type de stockage n'est limité que par la différence de température disponible, les déperditions thermiques du stockage (liées à son isolation thermique).

Quelques exemples de stockage de chaleur sensible :

- Dans les systèmes de chauffage domestiques, on utilise parfois la grande inertie thermique de certains matériaux (briques, huile) pour restituer lentement la chaleur accumulée au cours de périodes où la chaleur a été produite ou captée. Mais le plus souvent, le stockage est assuré par un ballon d'eau chaude isolé.
- Dans les fours à feu de bois, en brique et terre réfractaire, la capacité de la voûte du four à emmagasiner la chaleur est utilisée pour la cuisson d'objets (poterie, émaux, etc.) ou de plats (pain, pizza, etc.).

### **II.11.3 Le stockage par chaleur latente**

Dans le stockage par chaleur latente, l'énergie est stockée sous la forme d'un changement d'état du matériau de stockage (fusion ou vaporisation). L'énergie stockée dépend alors de la chaleur latente et de la quantité du matériau de stockage qui change d'état. Contrairement au stockage sensible, ce type de stockage peut être efficace pour des différences de températures très faibles. Dans le cas du changement de phase solide/liquide, et pour une quantité d'énergie stockée et un matériau de stockage donnés, le stockage latent nécessite moins de volume que le stockage par chaleur sensible du fait que la chaleur latente est généralement beaucoup plus élevée que la capacité calorifique.

Quelques exemples de stockage de chaleur latente :

- Des matériaux à changement de phase (MCP) sont actuellement étudiés pour améliorer l'inertie thermique des parois des bâtiments.

- Les pompes à chaleur, notamment les réfrigérateurs, congélateurs et climatiseurs, utilisent des fluides changeant de phase comme caloporteurs. Ceux-ci ne stockent pas proprement parler de la chaleur, mais l'emmagasine uniquement le temps du transport.

## **II.12 Conclusion**

En fin de ce chapitre ont conclu que les équations de thermodynamiques et lois principaux qu'on a utilisées se sont la base qu'on a adoptée pour nos études thermodynamique sur les machines absorption ( $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$ ).

## ***Chapitre III :***

*Etude énergétique d'une  
machine à absorption avec  
NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O*

## III.1 Introduction

Dans cette partie, on effectue une analyse thermodynamique d'une machine à absorption à simple effet avec un échangeur de solution, utilisant le couple (NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O) comme fluide de fonctionnement qu'on a déjà introduit (cette machine est représentée sur la Figure (III.1)). Cette partie décrit les équations nécessaires pour le calcul des propriétés thermodynamiques et physiques de la solution binaire composée de l'eau et de l'ammoniac.

Pour l'application des principes de la thermodynamique sur un cycle réel, on utilise les conditions et les hypothèses de base suivantes :

- ✓ Les températures dans les échangeurs (générateur, condenseur, évaporateur et absorbeur) sont supposées uniformes sur tout le volume considéré
- ✓ La solution riche en fluide frigorigène à la sortie de l'absorbeur est un liquide saturé à la température et la concentration dans l'absorbeur. De même, la solution pauvre en fluide frigorigène quittant le générateur est à une concentration liée par une relation d'équilibre à la pression et à la température du générateur.
- ✓ Le fluide frigorigène sortant du condenseur est pris comme étant liquide saturé à la température et la pression correspondante.
- ✓ Le frigorigène, à la sortie de l'évaporateur, est à l'état de vapeur saturée à la température et à la basse pression de l'évaporateur.
- ✓ Les détenteurs sont supposés isenthalpiques.

## III.2 Description

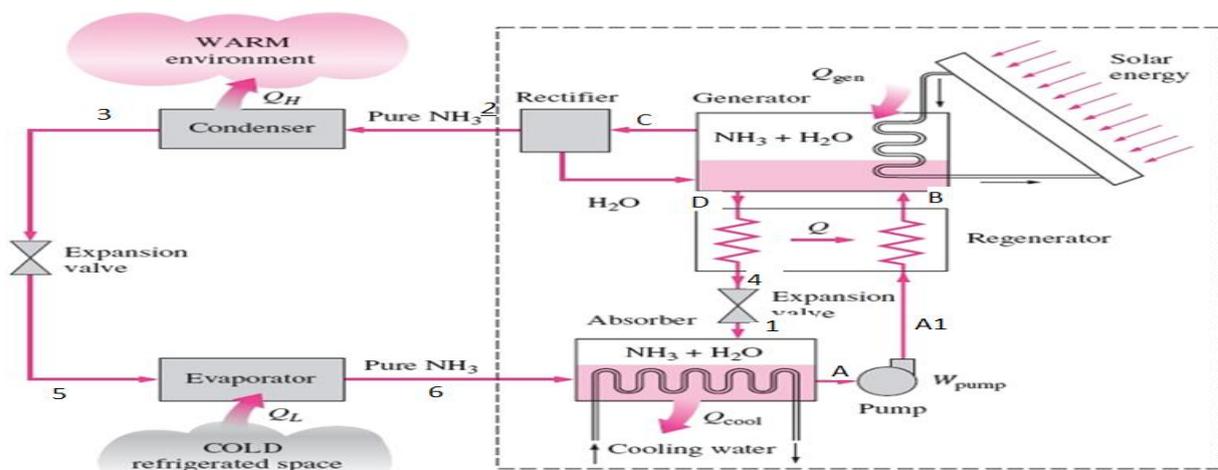


Figure [III.1] : Schéma du cycle frigorifique à absorption simple. Thermodynamique une approche pragmatique Cengel. [14]

### **III.3 Fonctionnement de cycle frigorifique de machine à absorption (NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O)**

Dans le cycle de réfrigération à compression de vapeur, le passage de la basse pression à la haute pression est réalisé à l'aide d'un compresseur.

Dans le cycle à réfrigération à absorption la compression est réalisée à l'aide d'un ensemble d'éléments dont le fonctionnement est basé sur les propriétés d'absorption et de désorption d'un fluide frigorigène mis en présence d'un liquide solvant.

Dans notre installation le mélange étudié est l'ammoniac (fluide frigorigène) mélangé avec de l'eau (solvant).

Le schéma de l'installation est représenté ci-dessus représente l'installation de réfrigération à absorption ammoniac -eau.

La vapeur du fluide frigorigène à basse pression qui provient de l'évaporateur est absorbée par la solution pauvre en ammoniac à basse pression qui provient du détendeur de solution.

Cette évolution libère de la chaleur d'absorption, c'est une réaction exothermique qui doit être évacuée par un système de refroidissement extérieur, car cette chaleur est inversement proportionnelle à la température du mélange. Le mélange est pompé par une pompe de solution qui élève la pression de la solution riche qui provient de l'absorbeur.

Cette solution riche est admise dans un bouilleur qui est déjà préchauffé dans un échangeur de chaleur est désorbée, c'est-à-dire séparée en vapeur à haute pression du fluide frigorigène est en solution pauvre en ammoniac à haute pression. Cette évolution consomme de la chaleur (réaction endothermique) cette chaleur dans ce cycle est une énergie solaire.

Cette chaleur pourrait provenir d'un réservoir géothermique ou chaudière biomasse ou autre source de chaleur. Le rectifieur sépare la vapeur riche en ammoniac de l'eau, la vapeur d'ammoniac est dirigée vers le condenseur, alors que l'eau est renvoyée vers le bouilleur.

Le détendeur abaisse la pression qui provient du bouilleur après avoir traversé l'échangeur de chaleur, ce dernier permet de réchauffer la solution riche en ammoniac à haute pression qui provient du bouilleur. [14]

### **III.4 Calcule thermodynamique**

#### **III.4.1 Bilans énergétiques**

Pour déterminer le bilan thermique d'un composant, il est nécessaire de connaître avec précision les enthalpies des fluides de travail à l'état liquide et gazeux en fonction de la température et de la concentration. Deux méthodes ont été utilisées pour le calcul des bilans :  
-Utilisation des diagrammes de Meckel et d'Oldham ou bien celui de Mollier dans le cas où il y aura un frigorigène pure ( $x = 1$ ). Utilisation de la méthode classique (en utilisant des équations mathématiques).

Le choix d'une pression de travail compatible varie d'un couple binaire à un autre, utilisant le couple NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O pour le fonctionnement de cette installation nous conduit à faire un bon choix d'intervalles de pression.

La connaissance des caractéristiques climatiques et géographiques de la région où se trouve notre installation est un facteur très important de l'étude. Ces éléments sont variables, mais on peut estimer une moyenne mensuelle.

Le bilan d'énergie de l'installation frigorifique à absorption s'établit comme la somme des puissances thermiques représentant l'énergie totale absorbée est égale à la somme des puissances thermiques évacuées, A partir de ce principe, on détermine les différentes équations des bilans massiques en débit de chaque élément de l'installation.

#### **III.4.2 Diagrammes utilisés**

##### **III.4.2.1-Diagramme d'Oldham**

La loi d'équilibre des mélanges peut être approchée, grâce à un modèle mathématique :  $\log P = A + B \cdot X$  Avec la température et la pression d'un système à l'équilibre. A, B coefficients calculés en fonction du titre, pour un mélange particulier. Les premiers termes ont les poids les plus forts, le graphe de  $\log P = f(x)$  coïncide avec des droites définies pour différentes valeurs de la concentration X. Ce diagramme donne la pression en fonction de la température pour différentes solutions avec des titres donnés quel que soit l'état de la solution (liquide ou vapeur).

Toutefois, dans l'application à la machine frigorifique à absorption, seul l'état liquide des solutions est considéré. Le diagramme d'Oldham est le plus utilisé et le plus pratique pour une étude de la solution. Il donne la teneur de la solution en soluté en fonction de la température et de la pression. La Figure [III.2] présente un tel diagramme relatif au couple (NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O) [15].

## Chapitre III : Etude énergétique d'une machine à absorption (NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O)

Dans ce diagramme, les isotitres sont sensiblement des droites. La droite de teneur 100 correspond à l'équilibre liquide/vapeur de l'ammoniac.

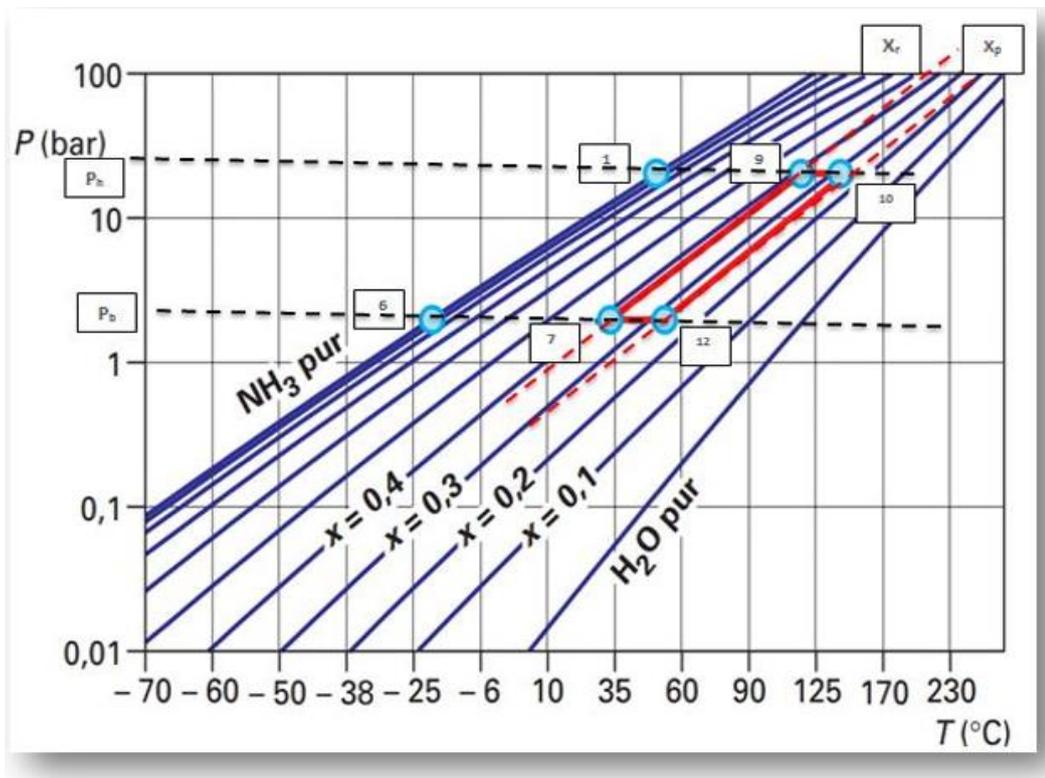


Figure (III.2) : Diagramme d'Oldham du couple NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O [20]

### III.4.2.1 Diagramme de Meckel

Si le diagramme d'Oldham permet d'avoir une bonne représentation de l'installation, il ne permet ni l'étude énergétique, ni le dimensionnement de la machine ; ces objectifs requièrent l'utilisation du diagramme de Meckel.

Ce diagramme indique les caractéristiques thermodynamiques d'un mélange binaire à l'équilibre : température, titre, enthalpie massique et pression et ce, quel que soit l'état de la solution liquide ou vapeur. Dans un plan isobare, les enthalpies massiques sont portées en fonction de la composition massique.

Pour toutes les phases du couple considéré. La définition des courbes d'ébullition commençante et de rosée sépare le plan en trois zones, à savoir :

- ✓ Les liquides sous refroidis, aux faibles enthalpies.
- ✓ Les mélanges diphasiques.
- ✓ Les vapeurs surchauffées, avec de fortes valeurs d'enthalpie

## Chapitre III : Etude énergétique d'une machine à absorption (NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O)

Il est intéressant de noter que sur les axes verticaux, pour  $x = a$  et  $x = 1$ , sont portées les propriétés du solvant et du frigorigène pur. Les chaleurs latentes de ces corps correspondent aux segments définis par l'intersection avec les courbes de rosée et d'ébullition. L'allure de l'isotherme portée dans le diagramme s'explique par ces remarques :

- ✓ Dans la zone liquide, les réactions du mélange sont exothermiques, le tracé est alors incurvé.
- ✓ En région de mélange des phases, l'isotherme est une droite, inclinée par rapport à la verticale du fait de l'écart en teneur des produits, dans chaque phase présente.
- ✓ Compte tenu de la faiblesse des chaleurs de réaction dans la zone des vapeurs, le graphe correspond à un segment de droite.

Ce graphique est souvent complexe, suivant le mélange étudié. Une représentation tridimensionnelle, avec un axe gradué selon le logarithme des pressions, traduit le comportement des solutions binaires :

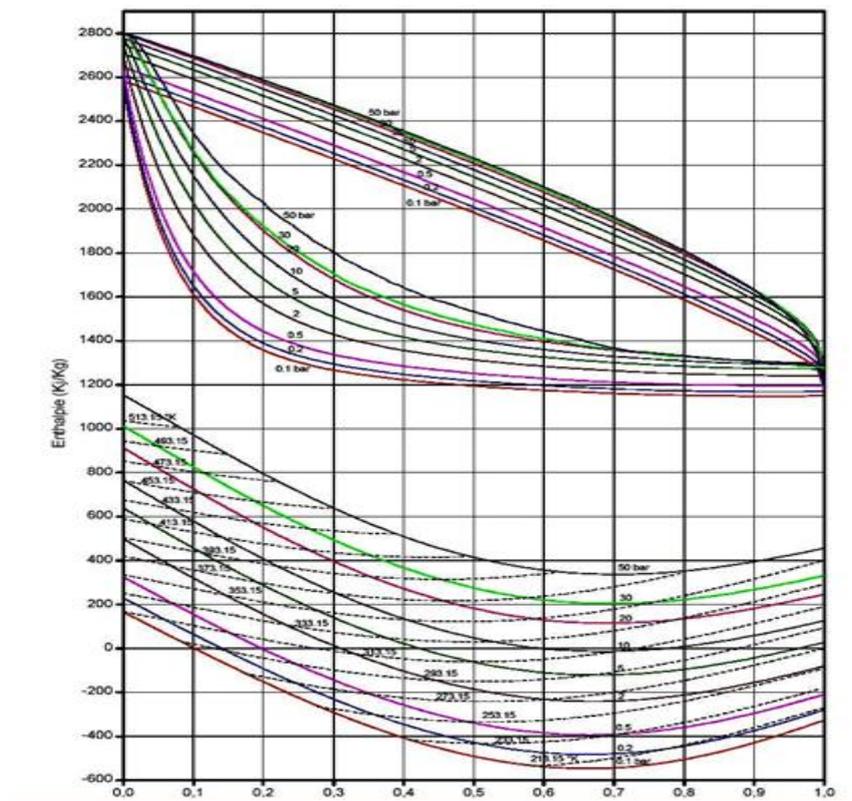


Figure (III.3) : Diagramme de Merckel (NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O) [20].

### III.5 Mise en équation

La modélisation thermodynamique réalisée pour les différents cycles frigorifiques se base sur le premier principe de la thermodynamique, la forme générale des équations de conservation de l'énergie et de la masse sont telles que :

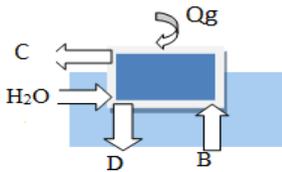
$$\sum \dot{m}_I = \sum \dot{m}_e \quad (3.1)$$

$$\sum \dot{m}_i x_i = \sum \dot{m}_e x_e \quad (3.2)$$

$$\sum Q + \sum W = \sum \dot{m}_e h_e - \sum \dot{m}_i h_i \quad (3.3)$$

Ainsi, les équations détaillées pour le cas du cycle simple effet (NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O) s'écrivent :

➤ **Générateur**

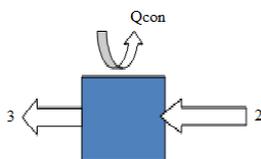


$$\dot{m}_B + \dot{m}_{H_2O} = \dot{m}_C + \dot{m}_D \quad (3.4)$$

$$x_B \dot{m}_B + x_{H_2O} \dot{m}_{H_2O} = x_C \dot{m}_C + x_D \dot{m}_D \quad (3.5)$$

$$Q_{gen} = \dot{m}_C h_C + \dot{m}_D h_D - (\dot{m}_B h_B + \dot{m}_{H_2O} h_{H_2O}) \quad (3.6)$$

➤ **Condenseur :**

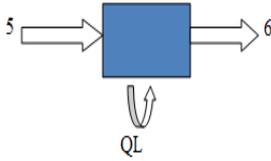


$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 \quad (3.7)$$

$$x_2 \dot{m}_2 = x_3 \dot{m}_3 \quad (3.8)$$

$$Q_{con} = \dot{m}_2 h_2 - \dot{m}_3 h_3 \quad (3.9)$$

➤ **Evaporateur :**

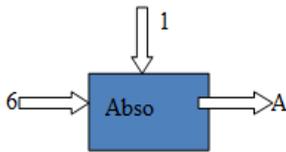


$$\dot{m}_5 = \dot{m}_6 \quad (3.10)$$

$$x_5 \dot{m}_5 = x_6 \dot{m}_6 \quad (3.11)$$

$$Q_L = \dot{m}_6 h_6 - \dot{m}_5 h_5 \quad (3.12)$$

➤ **-Absorbeur :**

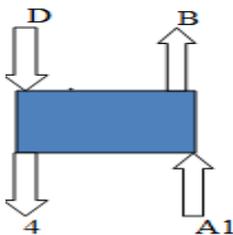


$$\dot{m}_1 + \dot{m}_6 = \dot{m}_A \quad (3.13)$$

$$x_1 \dot{m}_1 + x_6 \dot{m}_6 = x_A \dot{m}_A \quad (3.14)$$

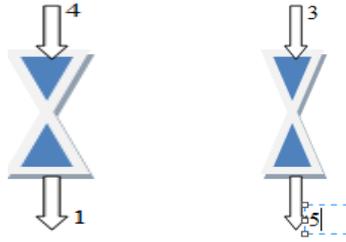
$$Q_{Abso} = \dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_6 h_6 - \dot{m}_A h_A \quad (3.15)$$

➤ **Echangeurs de chaleur :**



$$\eta_{ech} = \frac{(h_B - h_{A1})}{(h_D - h_4)} \quad (3.16)$$

➤ **Vannes de détente**



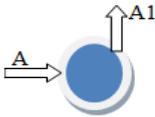
$$\dot{m}_1 = \dot{m}_4 \quad (3.17)$$

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_5 \quad (3.18)$$

$$Q_{1-4} = \dot{m}_4 h_4 - \dot{m}_1 h_1 = 0 \quad (3.19)$$

$$Q_{3-5} = \dot{m}_5 h_5 - \dot{m}_3 h_3 = 0 \quad (3.20)$$

➤ **Pompe**



$$W_p = \dot{m}(h_{A1} - h_A) \quad (3.21)$$

Après avoir écrit le bilan enthalpique et massique par le cycle (NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O) on évalue le coefficient de performance (COP) est défini par le rapport de la quantité de chaleur absorbée par l'évaporateur sur la quantité de chaleur fournie au générateur plus le travail de la pompe de solution.

Le coefficient de performance est donné par l'équation suivante :

$$COP = \frac{Q_E}{Q_G + W_P} \quad (3.22)$$

D'où :

**Q<sub>E</sub>** : la quantité de chaleur absorbée par l'évaporateur.

**Q<sub>G</sub>** : la quantité de chaleur absorbée par le générateur.

**W<sub>P</sub>** : le travail de la pompe de solution.

## Chapitre III : Etude énergétique d'une machine à absorption (NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O)

### III.6 Paramètres fondamentaux des substances pures

Les valeurs des paramètres utilisées pour la détermination des équations. Sont décrites dans le tableau suivant :

		NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O
Masse molaire	$M$ [kg.kmole <sup>-1</sup> ]	17.03026	18.015268
Point critique	Température $T_c$ [k]	405.4	647.14
	Pression $P_c$ [bar]	113.336	220.64
	Masse volumique $\rho_c$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	225	322
Point d'ébullition	Température $T_{eb}$ [k]	239.74	373.15
	Pression $P_{eb}$ [bar]	1.013325	1.013325
Point triple	Température $T_t$ [k]	195.41	273.16
	Pression $P_t$ [bar]	0.06077	6.112 10 <sup>-3</sup>

Tableau (1) : les paramètres fondamentaux des substances pures

### III.7 Conclusion

D'une façon générale on a étudié les bilans massique et énergétique de l'installation de réfrigération d'une machine à absorption (NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O).

*Chapitre IV : Résultats et  
discussion*

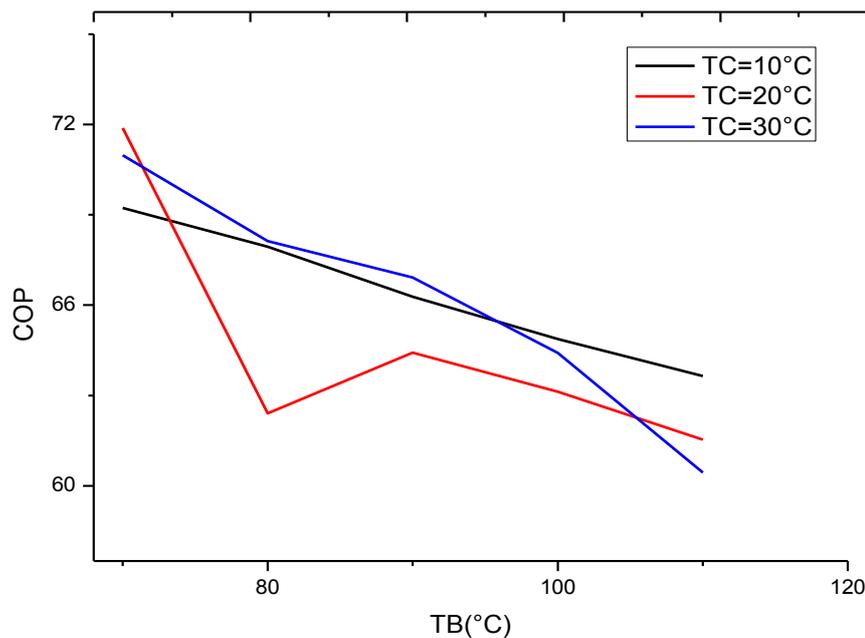
## IV.1 Introduction

Une machine frigorifique est énergétiquement efficace si elle demande peu d'énergie pour fournir une puissance frigorifique donnée. On évalue son efficacité par le calcul du coefficient de performance (COP).

## IV.2 Interprétations des résultats

Dans cette partie nous avons effectué une étude thermodynamique sur les différents composants de l'installation, nous avons varié plusieurs paramètres influant le coefficient de performance de la machine, à savoir la température du bouilleur, la température du condenseur, est celle de l'évaporateur...etc.

## IV.3 Evolution du COP en fonction de la température de du bouilleur en fonction de la température du condenseur

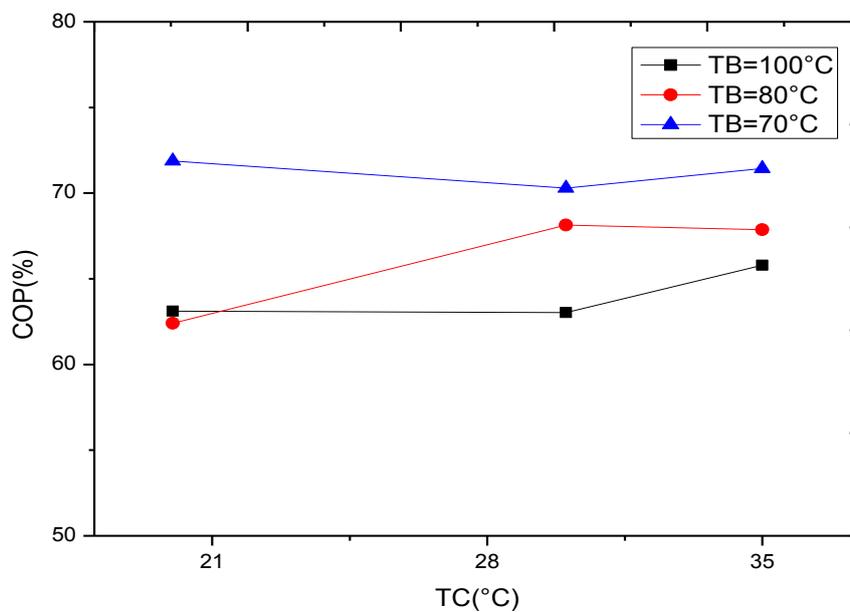


**Figure (IV.1) :** Evolution du COP en fonction de la température du bouilleur pour (TC=10°C, 20°C, 30°C)

L'évolution du COP de la machine est représentée dans la courbe ci-dessus, en remarque que le COP est nettement important pour une température du condenseur TC=20°C ce qui correspond à un COP de l'ordre de 72%.

Par contre pour des températures très basse de TC le COP diminue. En remarque aussi un point d'instabilité de fonctionnement de la machine qui se situe à  $TB=80^{\circ}C$  pour  $TC=20^{\circ}C$  à éviter pour avoir un bon coefficient de performance.

#### IV.4 Variation du COP en fonction de la température de condensation



Figure(IV.2) : Evolution du COP en fonction de la température du bouilleur pour ( $TB=100^{\circ}C$ ,  $80^{\circ}C$ ,  $70^{\circ}C$ )

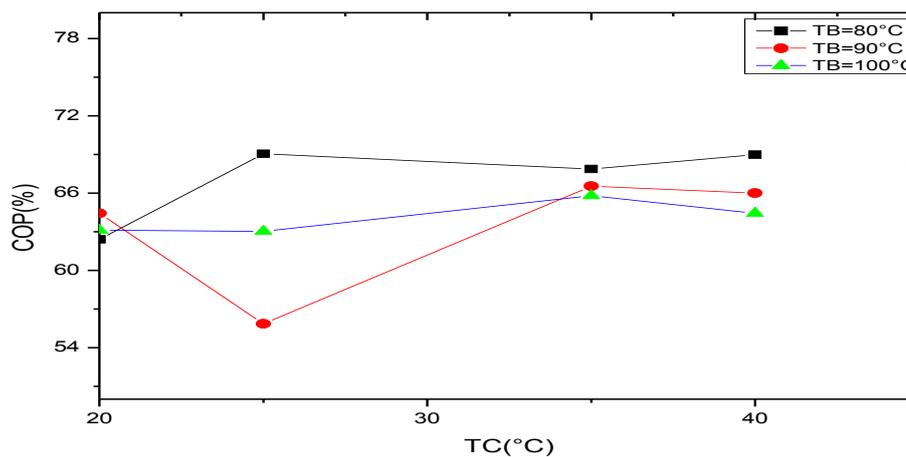
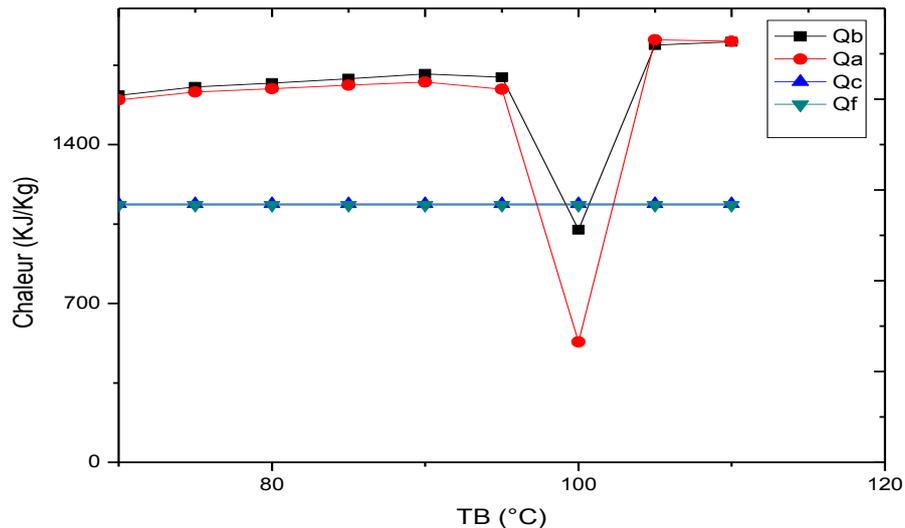


Figure (IV.3) : Evolution de la cop en fonction de la température du bouilleur pour ( $TB=80^{\circ}C$ ,  $90^{\circ}C$ ,  $100^{\circ}C$ )

En remarque que plus la température du bouilleur augmente, le coefficient de performance diminue alors pour une température du bouilleur de 70°C le Cop est de l'ordre de 72%. Au fur est à mesure que température de bouilleur augmente le coefficient de performance diminue pour la même température TC.

#### IV.5 L'évolution des chaleurs en fonction de TB



**Figure (IV.4) :** L'évolution des chaleurs en fonction de TB

Cette courbe représente les chaleurs échangées dans le cycle, la chaleur dans le bouilleur et l'absorbeur est très importante par rapport à la chaleur dans le condenseur et l'évaporateur. L'évolution est linéaire jusqu'à un point  $TB=100^{\circ}C$  ou on a une variation brusque des chaleurs échangées dans le cycle, par ailleurs Qf et Qc leurs évolution reste constante dans le cycle. Alors pour le bon fonctionnement de la machine  $TB=100^{\circ}C$  à éviter dans cette étude.

Car il faut une énergie importante pour élever la température de la solution riche ( $NH_3$ ), afin d'avoir le maximum de vapeur pour pouvoir l'envoyer dans le condenseur.

IV.6 L'évolution des chaleurs en fonction de TC

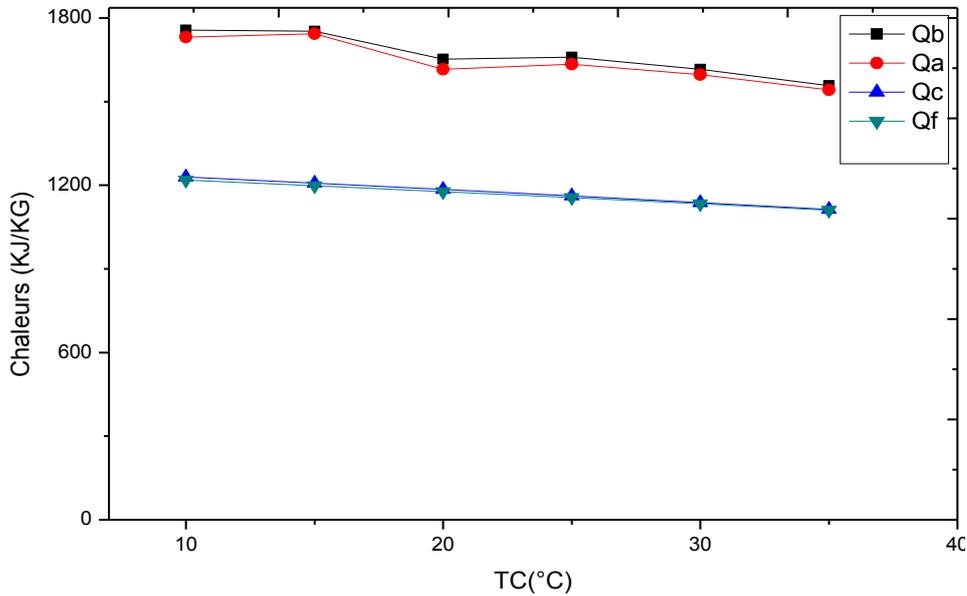


Figure (IV.5) : l'évolution des chaleurs en fonction de TC

L'évolution des chaleurs échangées en fonction de TC est représentée ci-dessus, en remarque une évolution linéaire des chaleurs en fonction de TC, évolution proportionnelle des chaleurs en fonction de TC.

Les chaleurs évacuées dans le bouilleur et l'absorbeur sont importantes par rapport à celle de l'évaporateur est le condenseur.

IV.7 Application pour quelques cas pratique

<b>Enceinte à refroidir</b>	<b>Denrées alimentaires (congélation)</b>
<b>TEV=-10°C</b>	<b>Production de la glace</b>
<b>TEV=3° à 4°C</b>	<b>Pomme</b>
<b>TEV=-16°C à -18°C</b>	<b>Viande</b>

➤ Enceinte à refroidir TEV=-10°C

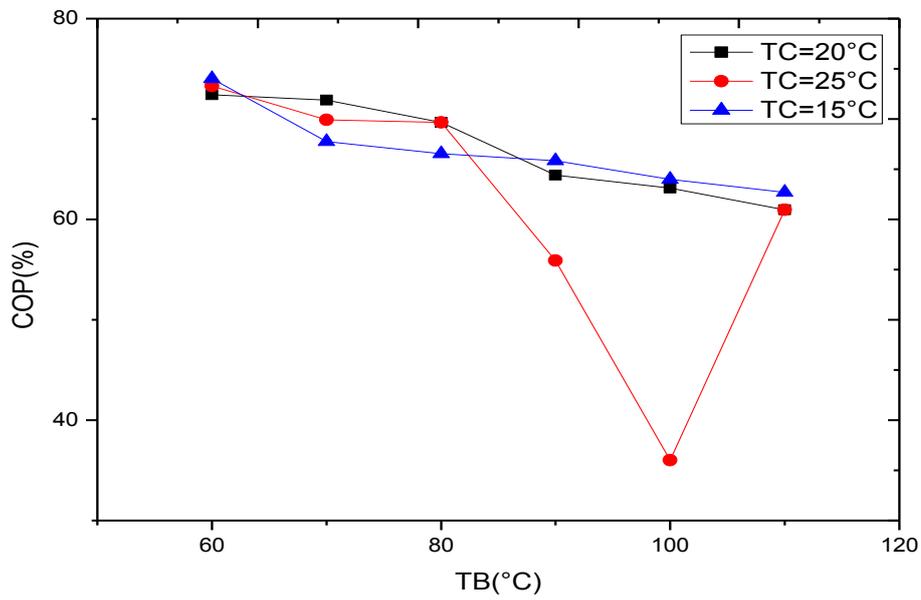


Figure (IV.6) : l'evolution du COP en fonction de TB

➤ Enceinte à refroidir TEV=4°C ( la pomme)

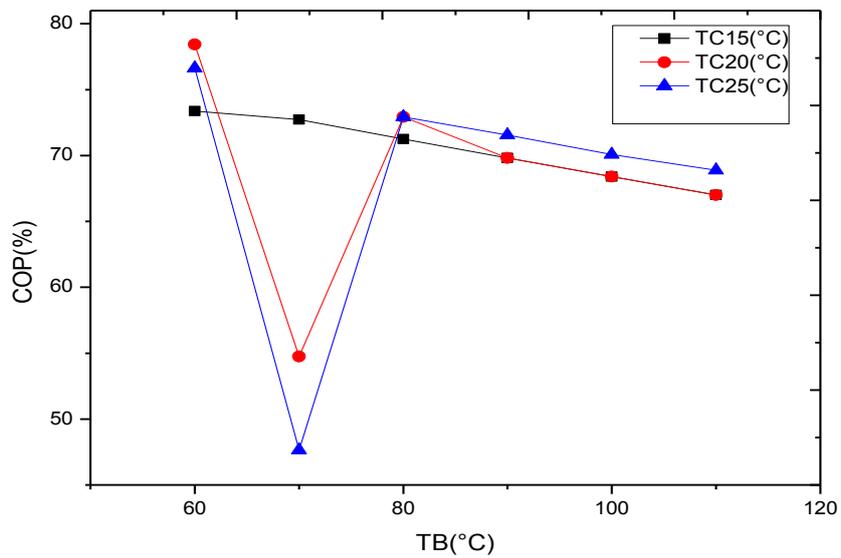
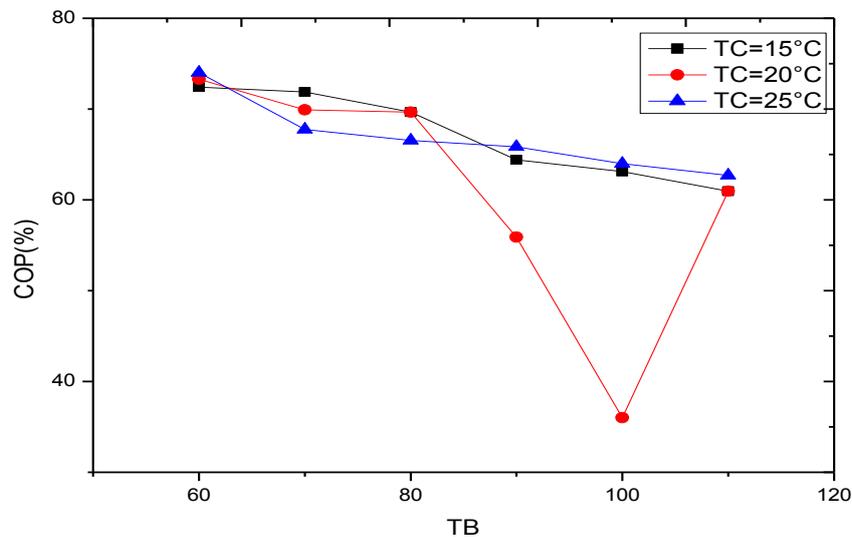


Figure (IV.7): l'evolution du COP en fonction de TB

➤ Enceinte à refroidir TEV=-16°C ( la viande)



**Figure (IV.8):** l'évolution du COP en fonction de TB

Ce calcul est une estimation du COP de la machine pour différentes denrées alimentaires, pour la production de la glace TEV=-10°C la température du bouilleur est de 60°C par contre celle de TC est de (10-25°C) des températures acceptables pour ce cas précis en évitons une température du bouilleur de 100°C ou le COP est très faible. Par contre la conservation des pommes TEV=4°C, le COP optimale 78% ce qui correspond à TB=60°C est TC (15-25°C), en évitons la température 70°C qui est à un cop faible. Cependant, pour la congélation de la viande on remarque que TB=60°C à un COP important.

## IV.8 Conclusion

Les limites de la machine permis d'aller jusqu'à des températures de -40°C, un bon choix de fluide serai important. Le couple NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O permettant de produire aussi de l'eau glacée à des températures inférieures à 0°C. Pour cette machine à simple effet, la température de la source chaude doit habituellement être au-dessus de 80°C (certain fonctionnement encore jusqu'à 65°C, une fois mis en régime nominal), le coefficient de performance est alors de l'ordre de 0,6 à 0,8.

# *Conclusion générale*

## **Conclusion générale**

On conclut que l'analyse fonctionnelle de la machine frigorifique à absorption (NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O) nécessite le choix d'un nombre important de paramètres ayant une influence directe sur le fonctionnement.

Nous avons simulé le comportement d'une machine à absorption binaire avec un mélange ammoniac-eau grâce à un programme écrit en Fortran 90. Les paramètres thermodynamiques utilisés dans cette modélisation ont été tirés du diagramme Merkel et Oldham pour un mélange binaire.

Après les calculs nous avons tirés quelques conclusions intéressantes ;

Pour un COP optimale la température du bouilleur esd doit pas excédé 100°C au dela notre système instable, le COP put varie entre (60% -75%) dans notre cas ou le chauffage ce fait par un panneaux solaire.

La température de condenseur acceptable pour le cycle varie entre (20°C -25°C ) elle peut atteindre une température de 40°C pour un COP de 72%.

Le fluide à sortie du bouilleur doit être ne plus pur possible, car celle-ci donne un rendement nettement supérieur avec une bonne rectification.

Les chaleurs misent en jeu sont très importantes dans l'absorbeur et le bouilleur par contre celle de l'évaporateur et le condenseur leurs évolution restent constantes.

On dernier cette étude peut servir pour d'autre application (cycle a double effet ou un cycle combiné avec d'autre fluide moteur afin d'avoir un meilleur COP).

# *Références*

## Références

- [1] American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers, ASHRAE Handbook Fundamentals, Atlanta, 2009
- [2] D.S. Kim, C.A. Infante Ferreira, Solar refrigeration options- a state-of-the-art review, International journal of refrigeration, Vol. 31, pp.3–15, 2008.
- [3] Y.F. Ding, F.C. Sun, C.X. Zhang, Experimental research on jet injector used in slag pneumatic conveying, China Powder Science and Technology, 2014.
- [4] Admopoulos, K.G, Petropakis, Simulation of distribution of discrete inert particles in two phase supersonic mixing journal of food Engineering, 1991.
- [5] Koochesfahani, A novel method for instantaneous, quantitative measurement of molecular mixing in gaseous flows, experiments in fluids, 2002.
- [6] KHALID.A. JOUDI, ALI.H. LAFTA Simulation of a simple absorption refrigeration system. 2001 (PERGAMON) .
- [7] De Chant, Sidel, Analytical development of non-ideal effects for volume based mixer models applied thermal engineering, 2001.
- [8] :Jean Lemale, l'offre d'info des professionnels de génie climatique pompe à chaleur
- [9] : Mr Bounouioua Ahmed Saber, «MODÉLISATION D'UNE MACHINE
- [10] : D. B. Bivens , J, R, Moriey , (Are we near an industry standard for refrigerant properties ? ) ,IUPAC Workshop, Paris ( France) ,April 9-11 ,2001.
- [11]. Kern M., Lee L.L., Perez- Blanco H. A computer aided molecular design of fluids that optimize absorption cycle, Journal of energy resources technology. vol.117, p156-160, June 1995.
- [12]. L, o, e, zermane, modélisation d'une machine frigorifique à absorption : application des équilibres de phases ,2012
- [13], yver jannot et christian mayne. transferts thermiques –cours et 55 , 2012
- [14] thermodynamique une approche pragmatique, Cengel, édition 2010
- [15] B, K, E & B, S étude de l'influence du nombre de bouilleurs sur les performances d'une installation de réfrigération à absorption 2013.